



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds-
och växtproduktionsvetenskap

Att sänka temperaturer i stadsmiljö

– En studie av trädens effekt på en bostadsgård i Malmö

To lower temperatures in the urban environment

- A study of the effect of trees on a courtyard in Malmö

Linnea Saarela



Att sänka temperaturer i stadsmiljö

- En studie av trädens effekt på en bostadsgård i Malmö

To lower temperatures in the urban environment
- A study of the effect of trees on a courtyard in Malmö

Linnea Saarela

Handledare: Ann-Mari Fransson SLU, Institutionen för Landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Examinator: Eva-Lou Gustafsson, SLU, Institutionen för Landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Examensarbete för landskapsingenjörer

Kurskod: EX0359

Program/utbildning: Landskapsingenjörsprogrammet

Examen: Landskapsingenjör, kandidatexamen i teknologi

Ämne: Teknologi

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsmånad och -år: juni 2014

Omslagsbild: Av Linnea Saarela

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: *Urban heat island, solstrålning, albedo, skugga, evapotranspiration, mikroklimat, ENVI-met, LAI, LAD*

Förord

Detta examensarbete är det avslutande momentet på mina tre år på Landskapsingenjörsprogrammet vid Sveriges Lantbruksuniversitet i Alnarp. Arbetet omfattar 15 högskolepoäng inom ämnet landskapsplanering.

Första gången jag fick uppleva en riktig värmebölja var hösten 2013 under min praktiktid på Royal Botanic Gardens i Melbourne, Australien. Under flera dagar stod termometern stadigt på 40°C. Många besökare kom till den botaniska trädgården under dessa dagar, för att fly innerstadens värme och svalka sig på gräset i skuggan av palmer och träd. Det var först nu jag verkligen insåg behovet och betydelsen av vegetation och parker för befolkningens komfort i stadsmiljön. Dessa fungerar som kyliga oaser i stadens annars bebyggda varma miljö.

När min handledare Ann-Mari Fransson och jag resonerade kring inriktning och frågeställning för kandidatuppsatsen, blev det tydligt att detta var ämnet jag ville skriva om.

Jag vill rikta ett stort tack till Ann-Mari Fransson för givande feedback, stöd och vägledning under arbetets gång. Ett stort tack vill jag även rikta till Hans Rosenlund från CEC Design AB som utfört samtliga simuleringar i studien samt hjälpt mig tolka dessa resultat.

Linnea Saarela
Alnarp, maj 2014

Sammanfattning

Under de senaste årtiondena har det pågått en förtätning och en alltmer ökad utbyggnad av världens städer. Som en följd av detta har stadens naturliga vatten- och värmebalans rubbats. På bekostnad av vegetativa ytor har artificiella byggmaterial introducerats som absorberar värme från solens strålar och höjer stadens temperaturer. Dessa material leder även snabbt bort regnvatten samt hindrar vatten att infiltreras ner i marken. Temperaturskillnader på 12°C jämfört med den omkringliggande landsbygden har kunnat uppmätas i stora amerikanska städer. Detta fenomen har kommit att kallas *Stadens Värmeö* eller *Urban Heat Island* som är den engelska termen.

I Sverige förväntas det bli allt högre sommartemperaturer och fler rekordvarma dagar framöver. Malmö stad har skapat en handlingsplan för klimatanpassning där fokus på hantering av högre temperaturer diskuteras med koppling och behov av fler vegetativa ytor. Vidare skriver de att en temperaturökning med 4°C kan komma att öka dödssiffrorna med 5 %. Främst är det de sjuka och äldre människorna som kan komma att påverkas.

Forskare och grönyteplanerare världen över ser goda möjligheter att sänka temperaturer lokalt, genom att strategiskt planera för vegetation. Flera studier har visat att vegetation kan bidra med skugga, ökad luftfuktighet samt fungera som verktyg för att modifiera vind. Stadsträd har visats vara väldigt effektiva för att skapa skugga och minska strålning från att nå underliggande ytor, vilket minskar värmelagringen. Syftet med detta examensarbete är därför att studera vad stadsträd har för effekt på klimatet på en bostadsgård i Malmö. Samt att undersöka vad jord som markmaterial har för effekt på stadsklimatet.

Studien görs genom att simulera en 24-timmars period i datorprogrammet *ENVI-met*, för en sommar dag i juli månad. 12 st träd med tät krona respektive 12 st träd med gles krona kommer att testas separat vid två olika markförutsättningar; Optimal respektive låg markfukt för träd. Markfukten är 60 % av den vattenhållande kapaciteten vid optimal vattentillgänglighet och 30 % vid låg vattentillgänglighet. Testerna ska undersöka om skillnad i trädens LAD och LAI kan komma att påverka stadens klimat samt om skillnad i markfukt kan vara en avgörande parameter för detta. LAD (Leaf area density) beskriver hur bladen är fördelade i kronans vertikala profil. LAI (Leaf area index) definieras som halva totalytan av bladet, som har möjlighet till interception per enhet markyta. Dessa värden varierar beroende på trädart, storlek, ålder eller placering i landskapet.

Slutsatsen från denna studie är att trädets evapotranspiration inte hade någon märkbar effekt på lufttemperaturen på bostadsgården. Luftutbytet mellan ovanliggande- och underliggande luft hindrades mest av de täta kronorna, som gav högst maxtemperaturer på bostadsgården. Dock påverkade träden strålningstemperaturen. Alltså den diffusa strålning som kommer ifrån solen eller som utstrålas från objekt i omgivningen. De täta träden gav lägre strålningstemperaturer än de glesa, en kunskap som är av stor vikt för att effektivt minska värmelasten för människor. En tydlig skillnad i lufttemperaturen kunde även uppmätas. Den var 2,5°C lägre för hela stadsrummet, när markfukten var optimal jämfört med när markfukten var låg.

Vetskapen om detta kan vara av stor vikt för grönyteplanerare, för att kunna förbereda ett behagligare sommarklimat när lufttemperaturerna i framtiden kommer att öka. Särskilt för att kunna kontextanpassa dessa lösningar till de mikroklimat som är särskilt utsatta för höga temperaturer.

Abstract

The process of urbanization has altered the natural water and heat balance. This is caused by the natural environment becoming largely replaced by building materials, at the expense of vegetative surfaces. These materials prevent infiltration and have a higher propensity to store heat. Absorbed radiation increase the surface temperature of the artificial materials, this stored heat is later transferred to the ambient air by convection. This is a process that increases the air temperature in urban environment. The increased air temperatures in urban climates compared to those of the surrounding rural area is referred to as *The Urban Heat Island*, a phenomenon that has become a reality for cities worldwide.

Several studies have shown that vegetation can provide shade, increase humidity and serve as a tool for wind modification. Urban trees have shown to be most effective for creating shade and reduce the radiation that reach the underlying surfaces and minimize potential heat storage. The purpose of this bachelor's thesis is to study how urban trees influence a courtyard in Malmö, and to examine how soil as a ground cover, can affect the urban climate.

The results of this study show that the trees had no evident effect on the air temperature of the courtyard but had a major impact on the mean radiant temperature. The difference in soil moisture caused a distinct difference in air temperature of 2.5°C at the courtyard.

Innehåll

1. Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte och mål	2
1.3 Avgränsning	2
2. Metod och material.....	2
3. Litteraturstudie.....	3
3.1 Stadens komplexa klimat	3
3.1.1 Luftföroreningar	4
3.1.2 Solens strålning	5
3.1.3 Albedo	6
3.2 Vegetation som värmesänkande verktyg	8
3.2.1 Skugga.....	9
3.2.2 Evapotranspiration	10
3.2.3 Vind	13
3.3 Mätningssmetoder	14
4. Egen studie	15
4.1 Förutsättningar Sverige och Malmö.....	15
4.2 Förutsättningar för den simulerade bostadsgården	16
5. Resultat och Analys	17
5.1 Optimal markfukt.....	17
5.1.2 Lufttemperatur.....	18
5.1.3 Strålningstemperatur	19
5.1.4 Dubbelt antal träd samt kronans temperatur	20
5.2 Låg markfukt.....	22
6. Diskussion	24
6.1 Jämförelse med tidigare studier	24
6.2 Framtida studier	25
7. Slutsats.....	25
8. Källor	26

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Bakgrunden till detta examensarbete har varit behovet av att finna lösningar med möjligheter till att sänka de temperaturer som uppstår lokalt i stadsmiljön. Särskilt när högre temperaturer förväntas i framtiden samt fler antal rekordvarma dagar, även här i Sverige. Detta kommer att påverka dödsiffror bland sjuka och äldre människor. En höjning av lufttemperaturen med 4°C, kan komma att öka dödsiffrorna med 5 % (Edlund & Eneroth. 2012). I staden är denna temperaturökning särskilt märkbar, eftersom städer har en högre medeltemperatur än omkringliggande landsbygd. Stadens geometri och höga andel gatu- och byggnadsmaterial, skapar mikroklimat som skiljer sig från Sveriges annars milda klimat. Gatu- och byggnadsmaterial, som asfalt eller betong, absorberar värme. Denna värme avges sedan till omgivande luft både dag- och nattid, vilket leder till högre temperaturer än omkringliggande landsbygd. Fenomenet kallas för värmeöeffekten och är idag ett faktum i många städer runtom i världen (Bogren, Gustavsson & Loman. 1999).

En av de få lösningar som kan hjälpa till att sänka temperaturer i staden, både dag- och nattid är strategisk placering av vegetation. Många studier har gjorts på olika platser runtom i världen för att hitta en förklaring till de temperaturskillnader som uppstår bland hårdgjorda och vegetativa ytor. Resultaten från flera studier är eniga och tyder på att temperaturen i en urban miljö blir lägre lokalt vid högre kvantiteter av vegetativa ytor (Konijnendijk, Nilsson, Randrup & Schipperijn. 2005; Shashua-Bar & Hoffman. 2000; Dimoudi & Nikolopoulou. 2003; Taha. 1997). Detta visar även en studie gjord av Boukhabla och Alkama (2012) i sydöstra Algeriet. Studien avsåg en gata i stadsmiljö med och utan vegetation. 6°C lägre temperatur kunde då urskiljas på gatan med vegetation. Vidare menar författarna att vegetationens främsta egenskaper är att skapa skugga, modifiera vind samt att kyla ner omgivande luft genom evapotranspiration (avdunstning).

Stadsträd har visats effektiva för att skapa skugga samt hindra strålning att nå underliggande material, vilket minskar värmelagringen (Shashua-Bar & Hoffman. 2000; Mcpherson, Rowntree & Wagar. 1995). Även byggnader kan skuggas och ytmaterialets temperaturer sänks då även där (Akbari, Kurn, Bretz & Hanford. 1997). Därefter kan inte dessa material påverka lufttemperaturen i samma höga utsträckning. Detta stöds i en studie gjord av Shashua-Bar, Pearlmutter och Erell (2009) i södra Israel. Författarna kunde uppmäta en skillnad i marktemperaturen på 18°C när stenbeläggningen var skuggad av ett träd jämfört med när den var exponerad för solens strålar.

Med rådande klimatförändringar och de varma mikroklimat som uppstår i städer är det viktigt att följa dagens forskning. Detta för att applicera denna kunskap, på de mikroklimat som uppstår i Sverige och som skiljer sig från vårt annars milda klimat. Genom att lära sig förstå och karaktärisera dessa mikroklimat samt hur vegetation svarar på dessa miljöer, kan dessa situationer lättare planeras i framtiden. Modelleringsprogram som *ENVI-met* fungerar som ett praktiskt hjälpmedel för att simulera hur vegetation kan komma att påverka ett utvalt områdes klimat. Meteorologiska parametrar och specifika värden, typiska för ett utvalt område, läggs in i modellen för bästa realistiska utfall (Carfan, Galvani & Nery. 2011).

För landskapsingenjörer och grönyteplanerare är det väsentligt att lära sig bredden på vegetationens användningsområde i städerna. Vår kompetens ska möjliggöra en god relation mellan hårdgjorda material och vegetativa ytor för att dessa ska komplettera varandra.

1.2 Syfte och mål

Syftet med detta examensarbete är att undersöka vegetationens förmåga att sänka temperaturer som uppstår lokalt i urbana miljöer. Mitt mål är att applicera kunskaper om vegetationens värmesänkande förmågor i en egen studie där träd med tät respektive gles krona ska testas på en bostadsgård. Detta för att mäta de eventuella skillnader och effekter träden kommer att ha på klimatet. Dessa kommer att testas vid två olika markförutsättningar: Optimal respektive låg markfukt för träd. Detta gör jag genom att svara på frågeställningen:

- *Vilket träd och markförutsättning skapar bästa värmesänkande utfall på en bostadsgård i Malmö under juli månad?*

1.3 Avgränsning

Jag avgränsar arbetet till att undersöka vegetationens värmesänkande egenskaper. Andra element som finns i landskapet som besitter värmesänkande egenskaper kommer även att belysas. Andra ekosystemtjänster som renande, vattenreducerande eller rekreativa funktioner som vegetation bidrar med kommer inte att behandlas. Heller inte främjandet av biologisk mångfald.

2. Metod och material

Examensarbetet kommer bestå av två delar, dels en litteraturstudie och dels en egen studie. Litteraturstudien utgör grunden för den egna studien som kommer testa vilken effekt träd med tät respektive gles krona har för klimatet på en bostadsgård i Malmö, under juli månad. Detta genom att undersöka dessa träd ur två olika markförutsättningar, optimal respektive låg markfukt.

Litteraturstudien utgörs av relevant information i form av skriven litteratur, rapporter och vetenskapliga artiklar. Sökningen efter information har skett med hjälp av Primo, Google Scholar, Google och LUB Search. Detta för att skapa en god helhetsbild av hur problematiken ser ut idag med den rådande förtätningen av bebyggelse som sker i urbana miljöer världen över, som skapar mikroklimat med höga temperaturer. Genom att studera hur vegetationen svarar på olika mikroklimat, ur ett värmesänkande perspektiv, ska denna kunskap ligga till grund för en egen studie.

Den egna studien utgår ifrån en färdig modell av en bostadsgård i Malmö och avser juli månad. Detta görs genom att simulera hur närvaron av träd kan påverka luft och ytemperaturen. En simulering av en 24 timmars period görs i datorprogrammet ENVI-met, för en sommardag i juli månad. 12 st träd med tät krona respektive 12 st träd med gles krona kommer att testas separat vid två olika markförutsättningar; optimal respektive låg markfukt för träd. 60 % av den vattenhållande förmågan används vid optimal markfuktighet och 30 % vid låg markfuktighet. Testerna ska undersöka om trädkronornas skillnad i leaf area density (LAD) och leaf area index (LAI) kan komma att påverka stadens klimat olika samt om en skillnad i vattentillgången kan vara en avgörande parameter för lokalklimatet i staden.

3. Litteraturstudie

3.1 Stadens komplexa klimat

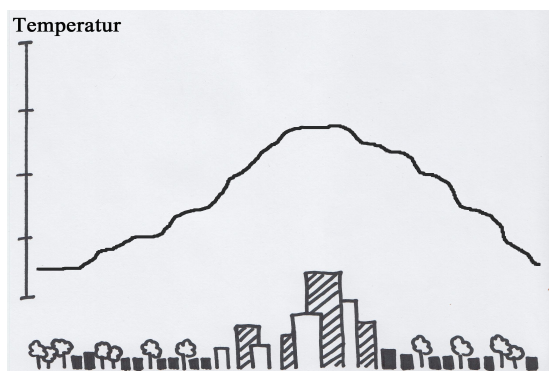
Det klimat som uppstår i staden är komplext och kan variera kraftigt lokalt beroende på situation, plats och omgivande förutsättningar. Främst kännetecknas stadens klimat av låg vattentillgång, höga pH-värden samt en hög mark- och lufttemperatur (Sjöman & Lagerström. 2007). Den höga andelen gatu- och byggnadsmaterial leder snabbt bort ytvatten och hindrar därmed vatten att avdunsta och infiltreras i marken, vilket leder till en lägre luft- och markfuktighet (Sjöman & Lagerström. 2007).

Oke (1987) menar att detta är anledningen till den lägre evapotranspirationsnivå som förekommer i städer. Gatu- och byggnadsmaterial har inte samma avdunstande egenskaper eller processer som vegetation. Den låga vattentillgången hindrar även den befintliga vegetationen i staden att ge effektiv evaporativ kylning till omgivande luft (Konijnendijk *et al.* 2005). Vidare hävdar Svensson och Eliasson (1999) att även värmeläckage från byggnader och trafik samt minskade vindhastigheter påverkar stadens klimat och temperatur. Dessa faktorer sammantaget rubbar den naturliga vatten- och värmebalansen i staden (Oke. 1987).

Brown och Gillespie (1995) definierar mikroklimat som klimatet på de platser som uppstår utomhus med variationer i sol- och markstrålning, vindhastighet, lufttemperatur, luftfuktighet och nederbörd. Vidare menar författarna att olika objekt i landskapet kommer att påverka klimatet. Objektens position skapar olika mikroklimat som kan skilja sig mycket från varandra, trots att de ligger nära varandra i landskapet. Vidare menar de att vi människor måste lära oss att förstå och förutse mikroklimatet, att kunskap ger goda möjligheter för oss människor att planera våra städer specifikt efter rådande situationer och önskat användningsområde. Citatet "*Complex problems demand complex solutions*" (Johnston & Newton. 2004) sammanfattar både problematiken och förhållningssättet till att finna goda lösningar framöver.

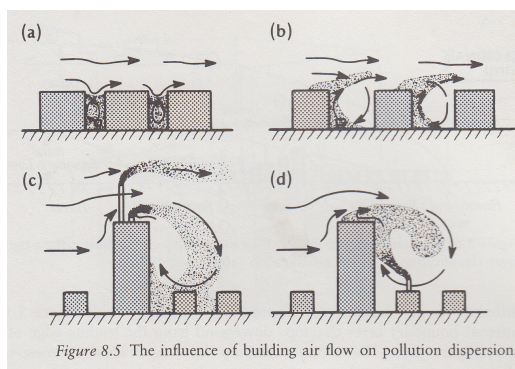
Den temperaturskillnad som uppstår mellan stad och omkringliggande landsbygd är vanligt förekommande i både små och stora städer. Fenomenet kallas för stadens värmeö (Bogren *et al.* 1999). Uttrycket Urban Heat Island (UHI) är den engelska termen för detta. Ett tydligt samband mellan antal invånare i en stad och storleken på värmeöns har kunnat fastställas. En stad med 10 000 invånare har en 3°C högre temperatur jämfört med omkringliggande landsbygd. I en miljonstad kan differenser upp till 12°C uppmätas. De arkitektoniska skillnaderna har stor betydelse för temperaturhöjningen. Jämför man städer i USA med Europa är temperaturskillnaderna 11-12°C respektive 7-8°C trots samma antal invånare (Bogren *et al.* 1999).

Enligt Svensson och Eliasson (1999) är värmeöeffekten som störst kvälls- och nattid, särskilt vid lugnt och klart väder. Detta beror på den fördröjda avkylningen av materialen i staden jämfört med landsbygden. Forskare i Seoul (Katayama, Hayashi, Ishii & Tsutsumi. 1993) fick samma resultat och menar att stadens hårda ytmaterial lagrar energi under dagen som sedan frigörs som långvågig strålning under kvällen. Materialens låga albedo (reflektions förmåga) är avgörande för hur mycket energi som lagras i materialet under dagen. Detta påverkar direkt temperaturhöjningens storlek (Katayama *et al.* 1993). På en varm solig dag kan solen värma ytmaterial som finns på tak och gångvägar till 27-50°C över lufttemperaturen, medan skuggade eller fuktiga ytor håller samma temperatur som omgivande luft (Wong, Hogan, Rosenberg & Denny. 2008).



Figur 1 Temperaturskillnad mellan landsbygd och stad.

Illustrator: Författaren, 2014.



Figur 2 Byggnadernas inverkan på vindflöden och spridning av luftföroreningar.
Källa: Oke (1987)

3.1.1 Luftföroreningar

Stadens komplexa klimat påverkas även av den högre andel föroreningar och partiklar i stadens lufttrum som, genom lägre vindhastigheter, fastnar mellan stadens höga husväggar. Detta bidrar till en ökad andel förorenad luft som stannar i staden, vilket tydligt försämrar luftkvaliteten (Oke. 1987). Landsberg (1981) beskriver att luftpartiklar och föroreningar tillsammans bildar ett moln ovanför staden som absorberar solens strålar. Den inkommande strålningen samt den strålning som emitteras från materialen tillbaka till atmosfären kommer därför att påverkas. Luftpartiklar, främst damm från vägar, uppstår när hjulen på bilar blandar upp partiklar i luften (Geiger. 1965). Biltrafiken är även främsta anledningen till förhöjda utsläpp av kväveoxider, ozon och lätt flyktiga organiska föroreningar (Konijnendijk *et al.* 2005). Biltrafiken i kombination med högre temperaturer höjer markozon halten, denna ökar nämligen lättare när lufttemperaturen stiger (Wong *et al.* 2008).

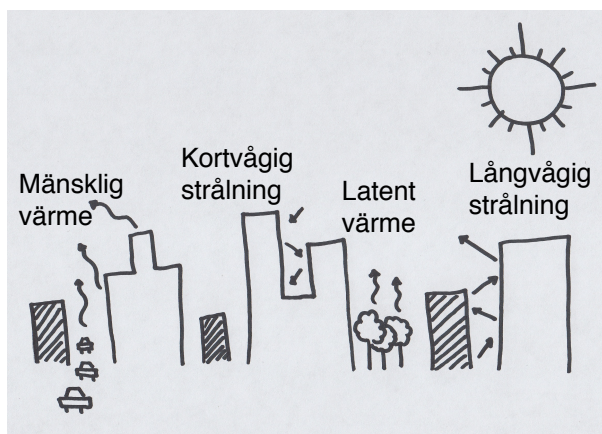
Enligt Oke (1987) och Landsberg (1981) är det främst den kortvågiga strålningen som filtreras bort av den förorenade luften. Oke (1987) menar att värden på 40%, i vissa fall 90%, av den ultraviolette strålningen filtreras bort eller absorberas av den förorenade luften. Filtrering av blått ljus kan påverka växternas fotosyntes negativt men positivt påverka människor då minskad ultraviolett strålning innebär minskade risker för hudcancer. Den kortvågiga strålning som tränger igenom stadens förorenade luft splittras och når ofta marken som ett diffust ljus. Detta innebär att ljuset kommer ifrån alla riktningar menar Oke (1987).

I industristäder har mätningar gjorts som tyder på en minskning av soltimmar upp till 10-20 % till skillnad mot omkringliggande landsbygd (Landsberg. 1981). Vidare skriver författaren att mätningar i Belgien visade att dagar med högre halter av luftföroreningar, gav 55 minuter mindre solvaraktighet än omgivande områden. I London kunde mätningar visa en minskning med 16 % av soltimmar i innerstan och 5 % i förorterna, jämfört med omkringliggande landsbygd. Trots minskad andel soltimmar i städer, kommer ändå stadens hårda material att alstra värme och höja temperaturen i staden, tillskillnad från den omkringliggande landsbygden (Bogren *et al.* 1999).

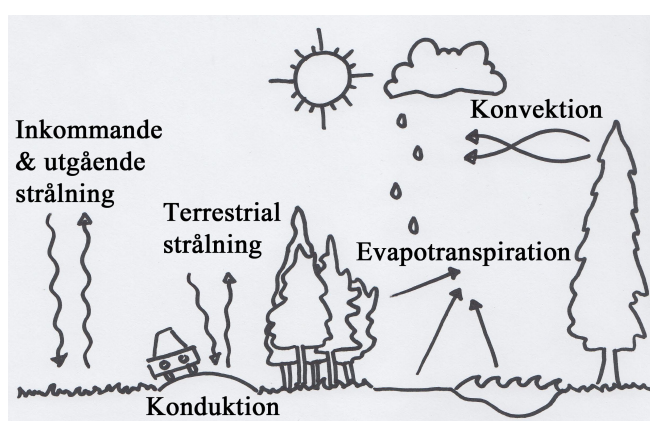
3.1.2 Solens strålning

Strålning är oundvikligen den största och viktigaste av alla meteorologiska fenomen på jorden. Den värmer och möjliggör för livsviktiga processer på jorden samt driver den atmosfäriska cirkulationen (Geiger, 1965). Strålningen från solen emitteras, utsänds, till jorden i form av elektromagnetiska vågrörelser, som uppfattas som värme och ljus. Solens elektromagnetiska vågrörelser som kommer i kontakt med jorden, kan enligt Brown och Gillespie (1995) delas upp i tre grupper; ultraviolett strålning, synligt ljus och infraröd energi. De ultravioletta fotonerna (UV), de kortaste våglängderna, förbrukas främst i stratosfären vid produktion av ozon. Dock har de ultravioletta våglängderna ökat innanför stratosfären i modern tid, då luftföroreningar på jorden lett till reducerad ozonproduktion i stratosfären.

Strålningen som går att placera i de resterande två grupperna, synligt ljus som i vissa våglängder används av växter i fotosyntesen och infraröd energi som är utanför det synliga spektrat (Brown & Gillespie, 1995). Växter reflekterar eller transmitterar den infraröda energin till stor del eftersom denna inte gynnar tillväxten. Transmittera innebär att bladen släpper igenom en del av den strålning som träffar bladet, till underliggande ytor. Bladen på växterna kommer att reflektera 10 % av det synliga ljuset och 50 % av den infraröda strålningen och transmitterar 10 % av det synliga och 30 % av den infraröda ljuset. Resterande strålning absorberas av fotosyntesen. Antalet lager av blad (leaf area index) kommer att påverka hur mycket strålning som kan nå marken och detta varierar mellan olika växtarter (Brown & Gillespie, 1995).



Figur 3 Strålningens väg i staden.
Illustratör: Författaren, 2014.



Figur 4 Strålningens väg i landskapet.
Illustratör: Författaren, 2014.

Strålarna från solen når objekt i landskapet som i sin tur utsänder långvågig strålning tillbaka till atmosfären. Denna långvågiga strålning är längre än solens strålar och kallas terrestrial strålning. Alla objekt utsänder terrestrial strålning (Brown & Gillespie, 1995). Hur objekt tar emot och sänder tillbaka strålning i atmosfären beror till stor del på materialens albedo och temperatur (Landsberg, 1981). Temperaturen avgörs av hur mycket strålning ett material absorberar, detta leder till konduktion (värmelagring). När objekt sedan avger denna värme genom långvågig strålning kommer vinden att sprida denna till omgivande luft, som kommer att värmas upp. Denna process kallas konvektion (Brown & Gillespie, 1995). Stadens geometri och höga byggnader gör att den kortvågiga strålningen kan absorberas av stadens olika material men försvårar för den långvågiga strålningen att sändas tillbaka till atmosfären igen. Den långvågiga strålningen riskerar att studsas mellan byggnadernas olika material och absorberas istället för att försvinna ut i atmosfären (Konijnendijk *et al.* 2005). Detta för att höga byggnader och större molnbildningar i städer minskar

de atmosfäriska fönstren som annars gör det möjligt för långvågig strålning att återsändas tillbaka till atmosfären (Oke. 1987).

Hur mycket strålning ett landskap eller ett objekt tar emot beror på vilken vinkel strålningen har och vilken vinkel objektet står i. Brown och Gillespie (1995) visar exempel på hur stor effekt (W/m^2) som blir mottagen av en yta som beror på vinkeln. En yta som är direkt vinklad mot solen tar emot 1000 W/m^2 medan en yta vinklad 30° endast tar emot 500 W/m^2 . Genom att veta detta kan man påverka strålningsbelastningen på objektet. En studie som gjordes av Taleghani, Tenpierik, Van den Dobbelsteen och Sailor (2014) på bostadsgårdar i Nederländerna visade att det väderstreck som bostadsgården är placerad i även påverkar temperaturen. En bostadsgård med riktning nord/syd får mindre strålning än en bostadsgård med riktning öst/väst. De fastslår att denna kunskap bör finnas i åtanke när man bygger nya bostadsgårdar, beroende på om det är i varma eller kalla regioner samt beroende på vilken effekt som önskas för ytan.

3.1.3 Albedo

Egenskaper som reflektion av strålning, termisk emissivitet och ytemperatur hos ett material avgör till stor del hur materialet kommer att påverka värmeöffekten. Dessa egenskaper avgör hur materialet reflekterar strålning, hur strålningen kommer att absorberas i materialet samt hur energin sedan återstrålas ut i atmosfären. Ett materials reflekterande förmåga samt termiska emissivitet kommer även ha en betydande effekt för materialets ytemperatur. Materialets färg kan även spela in på utfallet, då en ljusare färg ger lägre albedo och minskad värmelagring (Wong *et al.* 2008; Radhi, Assem & Sharples. 2014).

Materialets albedo är en viktig parameter för hur mycket solstrålning ett material reflekterar eller absorberar. Albedot kan variera kraftigt mellan olika naturliga och artificiella material (Bogren *et al.* 1999). Albedot anges efter hur bra eller dåligt en yta reflekterar strålning. Om ytan reflekterar bra är albedot högt och detta anges i procent eller på en skala 0-1 (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut [SMHI] 2014b). Geiger (1965) menar att albedot inte endast påverkas av ytan, utan även av objektets fukthalt eftersom nyansen kan förändras vid olika fuktnivåer. Därför kan albedot ändras på ett element beroende på om det är fuktigt eller torrt. Se tabell 1 för olika objekts albedo och emissivitet.

Emissivitet är förhållandet mellan den totala strålningsenergin som avges per tids- och ytenhet av en yta vid en specifik våglängd och temperatur, jämfört med en svart kropp (Oke. 1987). Termisk emissivitet är alltså en viktig parameter som avgör hur lätt ett material avger värme. Ett material med hög emissivitet kommer att avge värme lättare än en yta med låg emissivitet (Wong, Hogan, Rosenberg & Denny. 2008). Vidare visar författarna skillnaden på tak i svart färg, vit färg eller i metall. Taket i metall kommer att reflektera 60 % av strålningen och emittera 25 % av den absorberade värmen, alltså reflektera majoriteten av strålningen samtidigt som emissiviteten är låg. Ett svart tak kommer att reflektera 5 % av solens strålning och emittera 92 % av den absorberade värmen, alltså ha en låg reflekterande förmåga samt ha en hög emissivitet. Det vita taket kommer att reflektera 75 % av solens strålning och emittera 92 % av den absorberade värmen, alltså både ha en hög reflekterande förmåga samt en hög emissivitet. Detta visar hur avgörande materialets egenskaper är för det omgivande klimatet och konstaterar tidigare nämnda avgörande faktorer, att ljusa material minskar värmeöffekten mest effektivt. Detta eftersom strålarna reflekteras i hög grad och därför inte hinner värma upp materialet. Den värme som ändå tagits upp avges lätt.

Tabell 1 En sammanställning av olika ytors albedo och emissivitet (Oke. 1987;Bogren et al. 1999).

Typ av yta	Anmärkning	Albedo (Skala 0-1)	Emissivitet (Skala 0-1)
Vatten	Låg sol	0.03-0.10	0.92-0.97
	Hög sol	0.10-1.0	0,92-0,97
Jord	Mörk/Våt lera	0.05-	0.90-
	Ljus/Torr lera	-0.40	-0.98
Lövfällande skog	Utan Lövverk	0.15-	0.97-
	Med lövverk	-0.20	-0.98
Barrskog		0.05-0.15	0.97-0.99
Asfalt	Mark	0.05-0.20	0.95
Betong	Vägg	0.10-0.35	0.71-0.90
Tegel	Vägg	0.20-0.40	0.90-0.92
Färg	Svart	0.02-0.15	0.90-0.98
	Vit	0.50-0.90	0.85-0.95

Forskning på olika materials albedo har gjorts världen över för att hitta nya byggnadsmaterial som kan leda till temperatursänkningar i staden. I USA gjorde Akabari, Pomerantz och Taha (2001) en studie på asfalt i olika färg och ålder i Kalifornien. De visade att, genom att öka materialets albedo med 0.25 kan temperaturen sänkas med 10°C. Detta innebär att stora förändringar kan uppnås genom att byta ut mörk asfalt mot ljus asfalt. En annan studie som gjordes på asfalt och betong av Di Maria, Rahman, Collins, Dondi och Sangiorgi (1997) visade att gångytors ytemperatur kan ligga 20-30°C högre än omgivande lufttemperatur. Detta för att materialen absorberar solenergi i hög utsträckning. I studien framgick att asfalt uppnådde högre temperaturer än betong men att ytemperaturen i asfalt sjönk snabbare än betong, trots att asfalten håller värmen under längre tid. Vidare kunde de fastställa att sänkningar med 3-4°C av lufttemperaturen kan uppnås genom att måla båda materialen, i detta fall, med gul färg. Detta för att provbitarna med färg har ett högre albedo än de omålade bitarna. Akbari, Davis, Dorsano, Huang och Winnett (1992) instämmer och menar att det bästa sättet att minska värmelagring i ett material är genom att modifiera materialets albedo. En 5°F (Ca. 3°C) lägre lufttemperatur kan uppnås i en varm solig stad som innehåller många mörka material. Detta genom att modifiera vägg-, tak- och gatufärger.

Oke (1987) skriver om en studie som gjordes i Frankrike på kortgräs med olika topddressing för att delvis mäta om albedot förändrades. Vitt talkpuder ströddes över den ena ytan, svart kol ströddes över den andra och den tredje ytan lämnades orörd som kontrolllyta. På en fin sommardag mättes temperaturen på 10 mm djup. Den svarta ytan var 6°C varmare än kontrolllytan medan den vita ytan visade en temperatur på mer än 8°C kallare än kontrolllytan. Vidare skriver Oke (1987) om en liknande studie som gjordes i Israel på jord med och utan vitt puder (magnesiumkarbonat). Av studien framgick att albedot fördubblades på ytan med vitt puder från 0.3 till 0.6, vilket betyder att reflektionen av den kortvågiga strålningen fördubblades. En annan intressant upptäckt är att vegetativa ytor kan vara lika effektiva som en yta med högt albedo när det gäller att reducera strålningstemperaturen som överförs ifrån olika objekt eller ifrån solen (Kurn, Bretz, Huang & Akbari. 1994).

3.2 Vegetation som värmesänkande verktyg

Många studier har gjorts i olika städer runtom i världen, för att finna lösningar som kan minska värmeöeffekten och sänka temperaturer lokalt. I flera studier har märkbara temperaturskillnader mellan stadens bebyggda miljöer och vegetativa ytor kunnat uppmätas. Resultaten är entydiga och visar att temperaturen i en urban miljö blir lägre lokalt vid högre kvantiteter av vegetativa ytor. Denna kan med fördel kontextanpassas för att effektivt sänka temperaturer under sommarmånaderna och då skapa ett bättre stadsklimat (Konijnendijk *et al.* 2005; Shashua-Bar & Hoffman. 2000; Dimoudi & Nikolopoulou. 2003; Taha. 1997). En av de viktigaste faktorerna till varför vegetation sänker temperaturer i stadsmiljö, är det faktum att vegetation inte värmer omgivande luft i samma utsträckning som gatu- och byggnadsmaterial. Istället för att lagra värme som de artificiella materialen gör, omsätter vegetativa delar delvis den inkommande strålning till avdunstning som höjer stadens luftfuktighet (Kurn *et al.* 1994; Boukhabla & Alkama. 2012).

I tabell 1 kan man utläsa att värdet av albedo för vegetation, asfalt och betong ligger relativt nära. Emissivitet varierar mera mellan de respektive materialen. I asfalt och betong lagras inkommande strålning som värme genom konduktion, till skillnad från i vegetativa delar. Vegetation reflekterar, transmitterar eller använder denna strålning till fotosyntesen. Det blir därför tydligt att trots materialets värden för albedo och emissivitet, spelar materialets andra egenskaper en stor roll för hur inkommande strålning absorberas, lagras och återstrålas.

Temperaturskillnader mellan gröna och hårdgjorda ytor i städer har uppmätts såväl dag- som nattid. Detta visade en studie som gjordes i Göteborg av Upmanis, Eliasson och Linqvist (1998) där de fann en temperaturskillnad på 5,9°C mellan parken och den hårdgjorda ytan under nattid. De kunde även mäta att den kyligare luften som uppstått i parken, kunde sprida sig över 1100 m utanför parkens gränser. En liknande studie gjordes av Lee, Lee, Jin & Song (2009) i Seoul över ett års tid. Studien visade en genomsnittlig temperaturskillnad på 1.74°C mellan park och hårdgjord miljö, med den största temperaturskillnaden 3.36°C, under kvälls- och nattid. Författarna upptäckte att den kylande luften inte spred sig mätbart utanför parkens gränser, tillskillnad från resultaten i Upmanis *et al.* (1998). Slutsatsen är att Seouls arkitektur och valet av studieområde ledde till att Seoul hade högre omgivande byggnader som stoppade luftflödet, än området som studerades i Göteborg.

Shashua-Bar och Hoffmans (2000) studie i Tel aviv, Israel, visade att kylande luft från gröna ytor spred sig 100 m och föreslog att placera gröna ytor med 200 m avstånd där en sänkning av temperaturen efterfrågas. I en annan studie av Boukhabla och Alkama (2012) kunde temperaturskillnader visas även dagtid. En gata i sydöstra Algeriet studerades, både med och utan vegetation. En 6.57°C lägre lufttemperatur kunde urskiljas på gatan med vegetation.

Akbari *et al.* (1992) menar att träd som är planterade i klungor hjälper till att svalka varandra och att denna kylbevarande effekt även kan uppnås genom att plantera underliggande vegetation. Vidare poängterar de vikten av att strategiskt plantera träd för att utnyttja deras värmesänkande förmåga, både på byggnader och för gångstråk i staden.

3.2.1 Skugga

Ett av de mest konkreta sätten att sänka temperaturer i staden är skapandet av skugga, för att förhindra varma strålar att nå marknivån under träd- och taknivån. På detta sätt hindrar man att stadens höga andel bygg- och gatumaterial med lågt albedo absorberar strålning och avger värme i samma utsträckning vilket minskar värmelasten för människor (Shashua-Bar & Hoffman. 2000; Givoni. 1991; Kurn *et al.* 1994; Mcpherson, Rowntree & Wagar. 1995).

Efter en studie på 11 st mindre gröna ytor i staden kunde Shashua-Bar och Hoffman (2000) fastställa att över 80% av kylningseffekten vegetationen gav, kom ifrån skuggning av träd. Detta stöds av en studie av Akbari, Kurn, Bretz och Hanford (1997) där tester visar att temperaturen i en husvägg kan sänkas upp till 15-25°C (vägg mot syd respektive väst) och på taket med upp till 20°C, genom skuggning av träd. Träd har alltså en väldigt god effekt på såväl termisk komfort i utomhusmiljön som ekonomiskt för att potentiellt minska byggnadernas årliga energianvändning. Vidare skriver Mcpherson *et al.* (1995) om genomförda studier som visar att ett 25 fot (7,62 m) högt träd kan reducera de årliga energikostnaderna för en typisk bostad med 2-4 % genom skuggning. Tre strategiskt placerade träd, kan sänka den årliga energikostnaden med 5-10 %.

Studier utförda på vegetationens kylande egenskaper visar att flera lager av vegetation, ger störst kylande effekt. Shashua-Bar, Pearlmutter och Erell (2009) utförde dessa studier i södra Israel på två bakgårdar, då de kombinerade träd, gräsmattor och stenläggning för att mäta temperaturen i samtliga fall. Resultatet visade att marktemperaturen på stenläggningen utan vegetation var 55°C, när lufttemperaturen var 33.5°C. Stenbeläggningen som däremot var skuggad av träd hade en lägre marktemperatur, 37°C, alltså 18°C lägre. Mest märkbar effekt gav gräsmattan när den var skuggad av ett träd, med en marktemperatur på 27°C. Den sistnämnda kombinationen hade även högst märkbar effekt på lufttemperaturen på 1,5 m höjd. Lufttemperaturen uppmättes då till 32.2°C tillskillnad från bakgården med stenläggning utan vegetation, där lufttemperaturen var 34.3°C. Andra intressanta iakttagelser som gjordes i denna studie var att gräs utan skugga från ett träd, inte påverkade temperaturen märkbart och hade därtill ett stort vattenbehov. Vattenbehovet hos gräset sänktes drastiskt med 50 % när det skuggades av ett träd. Slutsatsen från denna studie är att träd, i relation till deras vattenbehov, är det mest effektivaste elementet för att sänka stadens temperatur.

Hur mycket strålning som tränger igenom ett träd varierar beroende på trädarten samt årstiden och det är viktigt att veta skillnaden för att kunna planera för en tänkt situation. Ett träd transmitterar alltid viss strålning men skillnaden är stor om det är sommar- eller vintertid. Detta gäller särskilt lövfällande arter då dessa har färre blad vintertid. På sommaren har träd en ljus-genomsläpplighet på 5-50 %, i detta fall släpper *Acer platanoides* igenom minst och *Gleditsia triacanthos f. inermis* igenom mest. (Brown & Gillespie. 1995). Se tabell 2 för olika trädarters genomsläpplighet.

Tabell 2 En sammanställning av trädarters ljusgenomsläpplighet sommartid samt genomsnittlig skuggnings faktor (Brown & Gillespie. 1995; *Nowak. 1996).

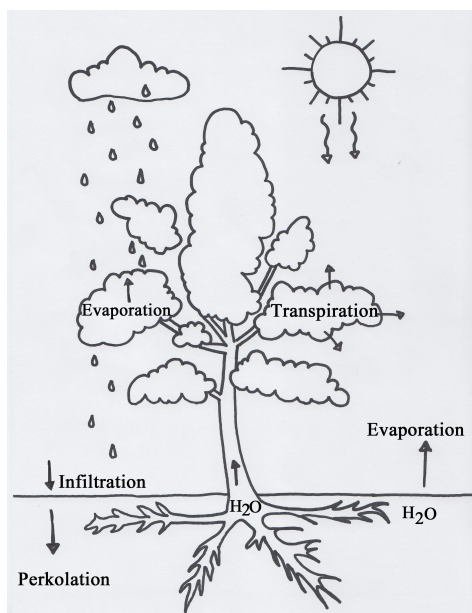
Vetenskapligt namn	Genomsläpplighet (%)	Bladutslag	Max höjd (m)	*Skuggnings koefficient
<i>Acer platanoides</i>	5-14	Tidig	15-25	0.88
<i>Acer saccharinum</i>	10-28	Medel	20-35	0.83
<i>Aesculus hippocastanum</i>	8-27	Medel	22-30	0.88
<i>Amelanchier canadensis (spp.)</i>	20-25	Sen	Ingen uppgift	0.77
<i>Betula pendula</i>	14-24	Medel	15-30	0.82
<i>Juglans nigra</i>	9	Sen	23-45	0.91
<i>Gleditsia triacanthos f. inermis</i>	25-50	Medel	20-30	0.67
<i>Picea pungens</i>	13-28	Städsegrön	27-41	
<i>Quercus alba</i>	13-38	Ingen uppgift	24-30	0.75
<i>Tilia cordata</i>	7-22	Sen	18-21	0.88

På begränsade ytor finns inte alltid möjligheten att plantera större träd och alternativ som gröna väggar och tak är i dessa fall bättre (Wong *et al.* 2008). En studie av Alexandri och Jones (2006) visar att tak täckta av vegetation kan sänka lufttemperaturen upp till 26°C, mätt 1m över taket, med en genomsnittlig temperatursänkning dagtid med 12.8°C. Detta har man kunnat se i Riyadh som har ett varmt/torr klimat. I Moskva sänktes ytemperaturen på en vägg i söder med maximalt 9.8°C med en genomsnittlig sänkning dagtid på 5.6°C vid närvaron av en grön vägg. Författarna gjorde samma studier i städer med andra klimat och kunde därefter fastslå att vegetation sänker temperaturer oberoende av rådande klimat. Dock poängterar de att vegetationen har störst värmsänkande förmåga i varma/torra klimat. Båda dessa studier presenterade även energibesparingar i byggnaderna, vid närvaro av gröna väggar och tak, särskilt i varma klimat.

3.2.2 Evapotranspiration

Evaporation är en process som innebär att vatten omvandlas till gas (avdunstning) och förekommer exempelvis i jordar runt vegetation eller från blad och andra växtdelar när regndroppar fångas upp. Transpiration är den process i växter där vatten utsöndras genom att vatten först transporteras ut aktivt genom bladytan och vatten sedan följer efter. Dessa två processer tillsammans benämns evapotranspiration (Geiger. 1965). Vidare skriver författaren att en växt kan reglera evapotranspirationen genom att öppna eller stänga stomata (klyvöppning), beroende på temperatur eller fuktighet i jorden och luften. Detta gör vegetation för att inte riskera uttorkning. Enligt Dimoudi och Nikolopoulou (2003) är evapotranspirationen maximal och stomata resistansen minimal vid 25°C. Hastigheten ökar endast om vindhastigheterna ökar för temperaturer över 25°C eller sänks vid temperaturer under 25°C. Nivån på den totala evapotranspirationen är således låg i

städer i jämförelse med landsbygden. Detta för att artificiella material inte har samma avdunstande egenskaper eller processer som vegetation (Oke. 1987).



Vidare menar Dimoudi och Nikolopoulou (2003) att mikroklimatet påverkas av evapotranspiration genom att denna process ökar den latent kylningen genom en ökad luftfuktighet. Givioni (1991) instämmer och menar att evapotranspirationen i växternas blad, kylvärmer ner omgivande luft som sedan sprids av vinden. Detta är en stor anledning till varför gröna ytor i staden har en lägre mark- och lufttemperatur än ytor bestående av hårdgjorda material. Vidare menar Givioni (1991) att den långvågiga strålningen är lägre i vegetativa ytor än i hårdgjorda, vilket skapar bättre förhållande för människor med minskad strålningsvärmebelastning. På sommarmånaderna eller i varma klimat sker störst avdunstning men detta styrs även av meteorologiska förhållanden. Vid torrare väder och kraftiga vindar är avdunstningen som störst, förutsatt en god vattentillgång i marken (SMHI. 2014d).

Figur 5 Evapotranspirationsprocessen. Illustratör: Författaren, 2014.

I ett varmt/fuktigt klimat är den kylande effekten av evapotranspirationen lägre eftersom luften redan är fuktig. En ökning av luftfuktigheten kommer därför inte att bidra till ett bekvämare klimat. Däremot är evapotranspiration i ett varmt/torr klimat, ett effektivt sätt att skapa ett bekvämare klimat för människor. Eftersom luften är torr, kan en ökad luftfuktighet skapa svalare luft genom evapotranspiration. Dock är tillgången till vatten i varma/torra klimat ofta begränsad och bevattning krävs för att öka växternas möjlighet till transpiration (Givoni. 1991).

Qiu, Li, Zhang, Chen, Liang, och Li (2013) menar att en temperaturskillnad på 0.5-4°C har uppstått i urbana miljöer genom evapotranspiration från vegetation och urban jordbruksavdunstning. Dock bör nämnas att en stor skepticism har funnits i forskarvärlden gällande framtagandet av realistiska värden på evapotranspiration ifrån en vegetativ yta. Än idag är det svårt att fastställa ett exakt värde på hur mycket en yta faktiskt avdunstar eftersom flera osäkra parametrar spelar en avgörande roll för utfallet. Därför används ofta standardiserade värden som inte ger exakta resultat för rådande situation (Ward. 1971). Dimoudi och Nikolopoulou (2003) räknade ut evapotranspirationen genom att räkna på transpirationsvärde, värmebalans, förändringar i bladtemperatur, förändringar i den potentiella vattenbalansen samt hur stomata öppnas i bladen beroende på ljusintensitet. Detta är parametrar som kan ändras under dagen eller lokalt i marken och ett exakt värde är därför svårt att ta fram.

Vattenelement i landskapet har även visat sig effektiva för att få högre evaporation som sänker omgivande temperaturer. Dessa är effektiva ur två aspekter, att vegetation får hög tillgång till vatten som resulterar i en effektiv transpiration samt ökad effekt av evaporationen från vattenytan (Radhi, Fikry & Sharples. 2013; Givoni. 1991). Enligt Oke (1987) absorberar en vattenkropp strålning väldigt effektivt. Både långvågig- och kortvågig strålning från atmosfären absorberas nästan helt utan att direkt reflektera eller transmitta någon strålning, eftersom vattenytans albedo är lågt.

Vidare menar Radhi *et al.* (2013) att ett vattnelement kan absorbera upp till 80 % av inkommande strålning utan att öka märkbart i temperatur. Detta för att vatten har en god termisk kapacitet.

Enligt Tang och Etzion (2003) avgörs vattenkroppens evaporativa förmåga av faktorer som vindhastighet, vattentemperatur, lufttemperatur och relativ fuktighet. Vidare menar författarna att avdunstning från en vattenyta sker genom två olika processer, forcerad evaporation som uppstår när vind sveper över vattenytan eller vid fri evaporation som uppstår genom att en densitets-skillnad i fuktigheten uppstår mellan vattenytan och omgivande luft. Qiu *et al.* (2013) menar att temperaturen i ett vattnelement kan vara 2-6°C lägre jämfört med temperaturen i omgivande bebyggd miljö. Robitu, Inard, Groleau och Musy (2004) har upptäckt att närvaron av en damm på 4 m² skapar 1°C lägre temperatur inom en radie på 30 m, mätt på 1 m höjd. En studie som gjordes av Taleghani *et al.* (2014) på bostadsgårdar i Nederländerna, visade goda resultat vid närvaro av dessa element. Genom att placera en vattenkropp samt vegetation på en varm bostadsgård, minskas den genomsnittliga lufttemperaturen samt strålningstemperaturen. Strålningstemperatur innebär den strålning som alla objekt i omgivningen samt solen utstrålar. Denna strålning påverkar människornas komfort i hög grad (Taleghani *et al.* 2014)

I tabell 3 finns uppmätta värden på transpiration och total evapotranspiration för olika element i landskapet per år (mm). Värdena är beräknade vid en nederbörd på 1000 mm/år. Dessa värden visar behovet av både vegetation och jord i stadsmiljö, då dessa har en avdunstande förmåga och ökar luftfuktigheten.

Tabell 3 Sammanställning av hur olika element transpirerar samt deras totala evapotranspiration (Nisbet. 2005).

Typ av vegetation	Transpiration (mm)	Total evapotranspiration (mm)
Barrträd	300-350	550-800
Lövträd	300-390	400-640
Gräs	400-600	400-600
Ljung	200-420	360-610
Bräken/Ormbunke	400-600	600-800
Åker (utan bevattning)	370-430	370-430

Trots att nederbörden var större under studien som gjordes på bar jord, visar resultaten att vegetation evaporerar mer i förhållande till nederbörden (tabell 4). Värdena visar också att vegetation fångar- och tar upp mer regnvatten än bar jord. Detta är även av intresse för en effektiv regnvattenhantering i stadsmiljö. Detta stöds av Geiger (1965) när han beskriver att ekarna förbrukade 145 % av nederbörden under växtperioden maj-september, detta var möjligt eftersom de tar upp vatten som var lagrat i jorden.

Tabell 4, Årlig genomsnittlig evaporation och perkolation på 1,5 m djup (Geiger. 1965) Värdena kommer från olika studier och uppmättes mellan åren 1929-1953, därför är värdet på nederbörd olika.

Typ av vegetation	Nederbörd (mm)	Evaporation (mm)	Perkolation (mm)	Evaporation (%)	Perkolation (%)
Bar jord	674	178	484	26	72
Kort gräs	615	356	259	58	42
Pinus spp. (3år)	576	450	149	78	26
Quercus spp. (3år)	533	454	117	85	20

I tabell 5 går att utläsa att den sandiga jorden evaporerar sämre under torra dagar, detsamma gäller gräset som kommer att gulna och dö efter längre torka. Däremot evaporerar vattenytan bäst under torra dagar men även under klara dagar utan moln. Sämst evaporerar vattenytan dagen efter regn, tillskillnad från den sandiga jorden och gräset. Detta för att vattenytan avdunstar mest när temperaturen ökar och vattnet värms upp (Geiger. 1965).

Tabell 5 Sammanställning av evaporation (mm/dag) från element under olika förhållanden (Geiger. 1965). Dessa värden kommer från olika studier och uppmättes mellan år 1930-1932 under maj-augusti.

Förhållande	Sandig jord	Kort gräs	Vattenkropp
Dagen efter regn	2,38	2,80	2,24
Klara dagar	0,47	2,15	3,61
Torra dagar	0,26	1,14	3,80

3.2.3 Vind

I staden är vinden en av de viktigaste faktorerna för hur olika gator och platser uppfattas av människor. Vindens flöden påverkar hur vi människor uppfattar temperatur och luftfuktighet, beroende på hur luft blandas mellan olika ytor. Stadens luftskikt består av två lager och skiljer sig från landsbygdens luftskiktning. Ytan från taktopparna ner till marken definierar Oke (1987) som UCL, Urban Canopy Layer. Vidare menar författaren att mikroklimaten som bildas här, påverkas av de processer som uppstår i den direkta omgivningen mellan byggnaderna. Vidare definierar Oke (1987) luftskiktet ovan UCL som UBL, urban boundary layer. Detta sträcker sig från taktopparna och uppåt och påverkas både av underliggande stadsytor som av de regionala meteorologiska processerna. Vind är en faktor som är svår att kontrollera eftersom riktning och hastighet kan variera kraftigt på olika platser (Brown & Gillespie. 1995). Kunskap om hur vinden rör sig mellan byggnader är därför viktig för att kunna planera för hur de värsta situationerna kan undvikas. Detta gäller både för de skador som kan uppstå på objekt och byggnader samt för att skapa säkra och behagliga ytor för människor i staden. En annan viktig aspekt är kunskapen om hur vinden rör sig, för att kunna effektivisera förflyttningen av luftföroreningar (Oke. 1987).

Sjöman och Lagerström (2007) menar att höga byggnader i staden kommer att påverka och förstärka vindens flöden. Byggnaderna för ner vindarna från toppen av taken, till gatunivå. I gaturum som är långa med linjärt stående byggnader längst sidorna, kan ett turbulent klimat uppstå som skiljer sig kraftigt från närliggande skyddade innergårdar. Enligt Brown och Gillespie (1995) är detta situationer som försämrar och skapar ett besvärligt klimat för människor, särskilt vintertid. Dock är vinden en viktig faktor för att skapa ett drägligt klimat när lufttemperaturen är hög.

Att planera för vind och skapa goda förutsättningar för människor i varma klimat, bör prioriteras efter skapandet av skugga för att reducera solstrålning (Brown & Gillespie. 1995). Vidare anser författarna att detta bäst går att uppnå genom att använda träd för att modifiera vindhastighet och vindriktning men att användning av buskar även kan vara framgångsrikt trots att skalan är mindre. Givoni (1991) poängterar vikten av tillgång till vind i varma/fuktiga klimat och menar att höga stammar på träd är att eftersträva. Trädens kronor kan på detta sätt skugga samtidigt som vindflödet inte stoppas upp. Däremot, menar författaren, är vind inte av samma vikt i varma/torra klimat. Sänkta vindflöden där kommer inte att skapa sämre komfort för människor, förutsatt närvaro av skugga.

Förutom att vegetationen fungerar temperatursänkande finns även andra fördelar med en ökad kvantitet av vegetation i städer. Vegetation kan förbättra luftkvaliteten genom att fånga upp luftpartiklar samt minska ljudnivåer. Vegetation kan även hjälpa till mot klimatförändringar genom koldioxidfixering (Konijnendijk *et al.* 2005). Vidare menar Boukhabla och Alkama (2012) att vegetation minskar avrinningseffekten vid regnfall samt skyddar mot erosion som skapas av vatten och vind.

3.3 Mätningmetoder

För att lättare kunna ta fram resultat och uppskatta hur vegetation reagerar på olika faktorer i stadsmiljö används ofta datasimuleringar. Detta för att närmare kunna studera avgörande parametrar samt hur dessa påverkar klimatet och vegetationen. Programmet Envi-met, är en tredimensionell modell för mikroklimat med syfte att simulera ytornas, växtens och luftens interaktioner i stadsmiljö. Modellen arbetar med två system, markytan och atmosfären. Vegetationen och marken delas upp och behandlas separat. Dessa behandlas sedan med fokus på de olika lager som ytorna består av och som har olika värden. Detta för att ingen yta är helt homogen. Det atmosfäriska systemet mäts genom att vindhastighet- och riktning, lufttemperatur och specifik luftfuktighet anges. Markytan delas upp i 14 olika lager där ytlagren är grunda för att bli tjockare djupare ner (Carfan, Galvani & Nery. 2011).

För att mäta effekten av vegetationen, kan värden som leaf area index och leaf area density och root area density hjälpa till ta fram skräddarsydda och realistiska resultat för en given förutsättning (Eschenbach & Kappen. 1996). Leaf area index (bladyteindex) är vanligtvis definierat som halva totalytan av bladet som har möjlighet till interception, per enhet markyta (Chen & Black. 1992). LAI varierar med växtens storlek, ålder, art och omgivningens karaktär (Mcpherson, Nowak & Rowntree. 1994). Leaf area density (bladytedensitet) innebär den vertikala spridningen av bladen i trädets krona. Detta är av intresse eftersom trädets krona sällan är helt homogen, bladen fördelas olika i kronan beroende på ljusintensiteten (Eschenbach & Kappen. 1996; Carfan *et al.* 2011). RAD, root area density, räknas ut genom att totala djupet av rötterna mäts för en specifik trädart (Shinzato

& Duarte. 2012). Hans Rosenlund¹ menar att det finns ett stort behov av uppdaterade värden för RAD. Dessa är svårare att mäta och uppdaterade värden på detta bör därför tas fram för mer realistiska resultat i ENVI-met simuleringar.

Dessa värden har betydelse på flera sätt. De ger kunskap om trädartens bladtäckning samt hur stor del av bladen som har möjlighet till evaporation, gasutbyte, vattenbalans, interception av strålning och vatten samt kolbalans i trädet (Eschenbach & Kappen. 1996). Mcpherson, Nowak och Rowntree (1994) menar att en trädart med hög bladyteindex kommer att ha störst inverkan på den lokala omgivningen genom att sänka lufttemperaturer, fånga upp luftföroreningar och partiklar samt binda koldioxid. Leaf area index är även relaterad till trädets förmåga till skapandet av skugga (Shinzato & Duarte. 2012).

4. Egen studie

Hans Rosenlund från CEC Design AB har ansvarat för simuleringarna i denna studie. Studien har undersökt vilka eventuella effekter träd kan ha på en bostadsgård i Malmö. Detta genom att simulera en 24-timmars period i datorprogrammet ENVI-met som sträcker sig från midnatt till-midnatt. Testet kommer att göras för en sommardag i juli månad, med meteorologiska parametrar baserade på uppmätta medelvärden för denna period i Malmö regionen. Värdena som används är alltså baserade på standardvärden som ENVI-met har för Malmös klimat. Utdata kommer därefter samlas in klockan 14:00, eftersom detta är den varmaste tiden på dagen. 12 st träd med tät krona samt 12 st träd med gles krona kommer att placeras på bostadsgården och testas vid separata simuleringar. Detta för att mäta om skillnader i LAI och LAD kan ge olika temperaturer på bostadsgården. Både träd med tät respektive gles krona kommer att testas under två olika markförhållanden, optimal- eller låg vattentillgång i marken. Detta för att undersöka om vattentillgången i marken är en avgörande parameter för stadsklimatet eller trädens värmesänkande förmåga. Ett test kommer även att göras på dubbelt antal träd med tät krona vid optimal markfukt, för att studera om träd planterade i klunga kommer att ge ett annat resultat på bostadsgården än i fallen med 12 st träd.

4.1 Förutsättningar Sverige och Malmö

Sveriges klimat kännetecknas av sydvästliga och västliga vindar samt nederbörd som faller året om. Störst är nederbörden på sommar och höst (SMHI. 2014c). I västra Skåne är den genomsnittliga nederbörden runt 500 mm/år. Skåne är det landskap som har högst medeltemperatur under största delen av året med en sommar som varar längre än de övriga landskapens. Medeltemperaturen på sommaren ligger runt 17°C (SMHI. 2014a). I Malmö stads handlingsplan för klimatanpassning står det att det kan komma att bli fler rekordvarma dagar framöver. Vidare menar de att även medeltemperaturen kan förväntas bli högre (Edlund & Eneroth. 2012).

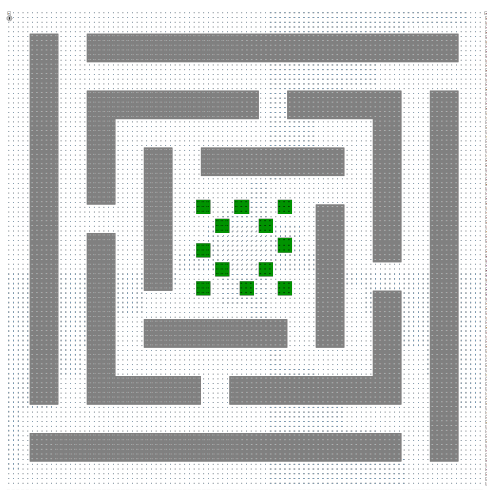
¹ Hans Rosenlund, VD CEC DESIGN AB, Skypesamtal den 8 maj 2014

4.2 Förutsättningar för den simulerade bostadsgården

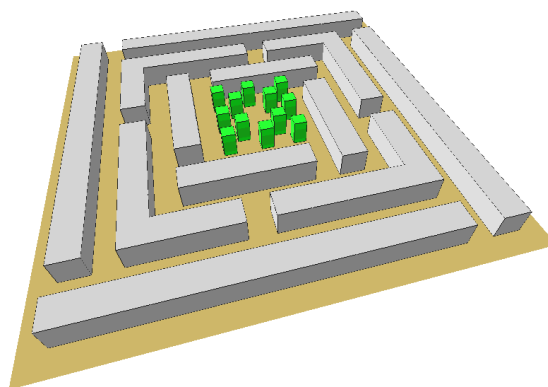
Storleken på bostadsgårdens öppna yta är 60 x 60 m och den är omgiven av tre lager byggnader på respektive 12 meters höjd. Samtliga gator mellan byggnaderna har samma bredd. All mark i bostadsgården kommer i testet att bestå av bar jord. Jordarten klassificeras som en loam, dvs en jord som består av 50 % sand, 40 % silt och 10 % lera (Eriksson, Dahlin, Nilsson & Simonsson. 2013). Denna ligger nära beskrivningen av en AMA A jord (Svensk Byggtjänst. 2011). Den optimala vattentillgången kommer vara 60 % av den vattenhållande förmågan och den låga vattentillgången 30 %. Dessa värden är baserade på optimal och låg markfukt för träd. Träd kommer att placeras på bostadsgården och de har en höjd på 15 m, en kronbredd på 6 m och kronhöjd på 10 m. Medeltemperaturen för Malmö i juli månad är 19°C och detta värde kommer modellen att utgå ifrån. Observera att SMHI och ENVI-met har olika medelvärden för Malmös lufttemperatur. ENVI-met räknar även med de temperatursvängningar som sker beroende på meteorologiska parametrar som ändras under dagen. Vinden är i testet västlig och har en hastighet på 4 m/s.

Se figur 6 nedan för bostadsgårdens utformning samt placeringen av träden. Den centrala ytan mellan träden har avsiktligt lämnats tom, för att mäta eventuell spridning av kyligare luft från trädens kronor.

a)



b)



Figur 6. Den modell av en bostadsgård som används för att simulera lokalklimatet a) plan-vy av bostadsgården samt placering av träd (grön markering), b) bostadsgården i 3D-vinkel samt placering av träd. Illustratör: Hans Rosenlund, 2014.

Utdata kommer att hämtas från olika punkter utplacerade med jämna mellanrum på bostadsgårdens område. På detta sätt kan marktemperatur, trädens krontemperatur samt eventuell spridning av kyligare luft till omgivande ytor beräknas. Andra värden som även kommer att beräknas är vindhastigheten under kronorna samt strålningstemperaturen som når underliggande mark. Sammanlagt kommer fyra olika situationer att testas (tabell 6).

Tabell 6. De fall som kommer att undersökas på bostadsgården.

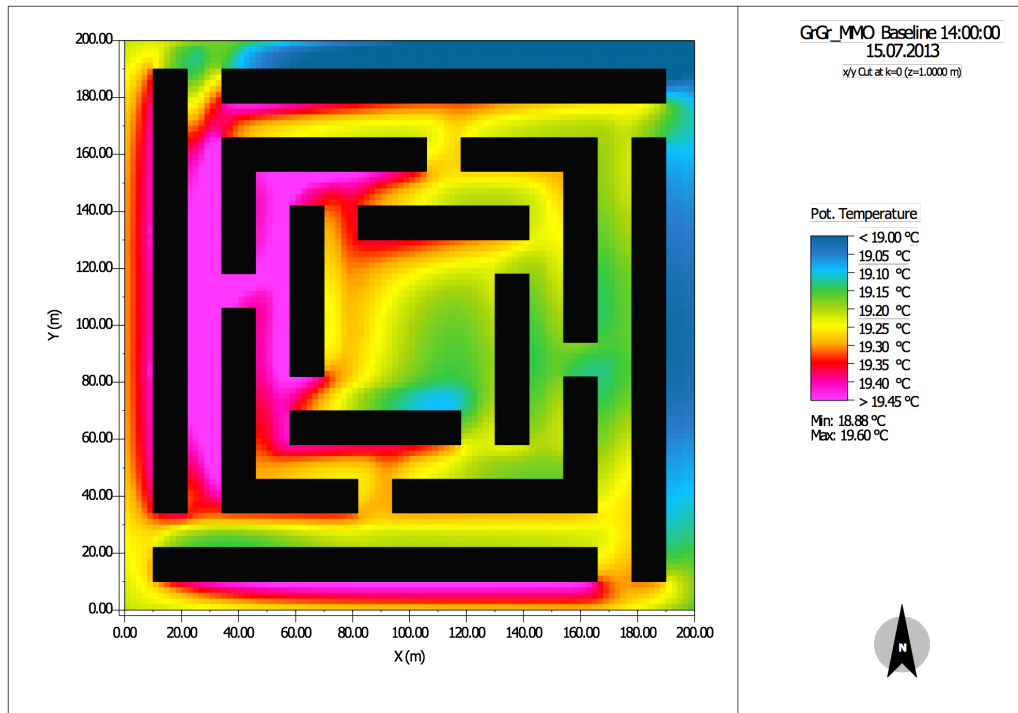
Fall 1a	Fall 1b	Fall 2a	Fall 2b
Gles krona	Gles krona	Tät krona	Tät krona
Optimal vattentillgång	Låg vattentillgång	Optimal vattentillgång	Låg vattentillgång

5. Resultat och Analys

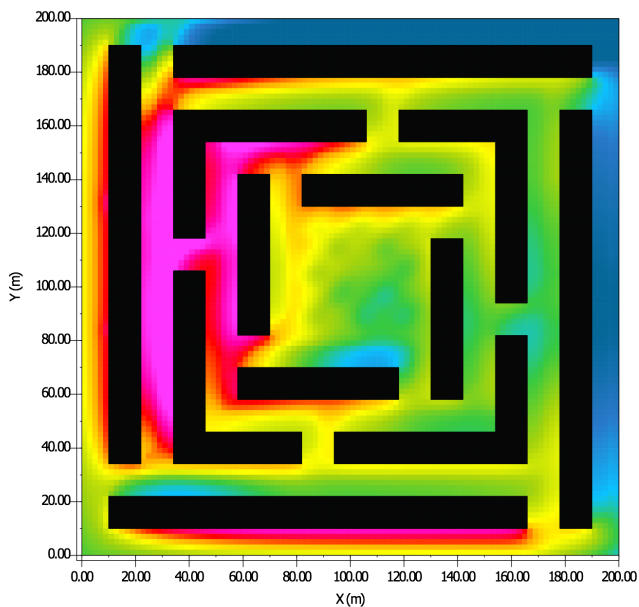
5.1 Optimal markfukt

Resultaten från fall 1a och 2a visas nedan. Lufttemperaturen är mätt 1 m över markytan.

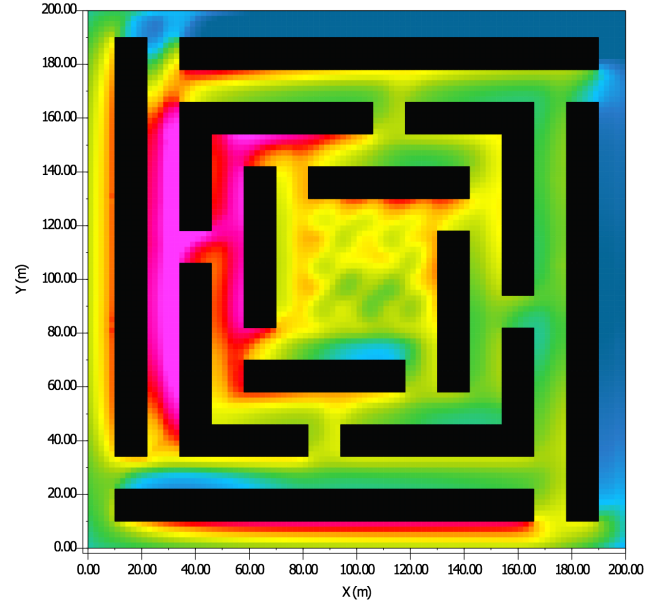
a)



b)



c)



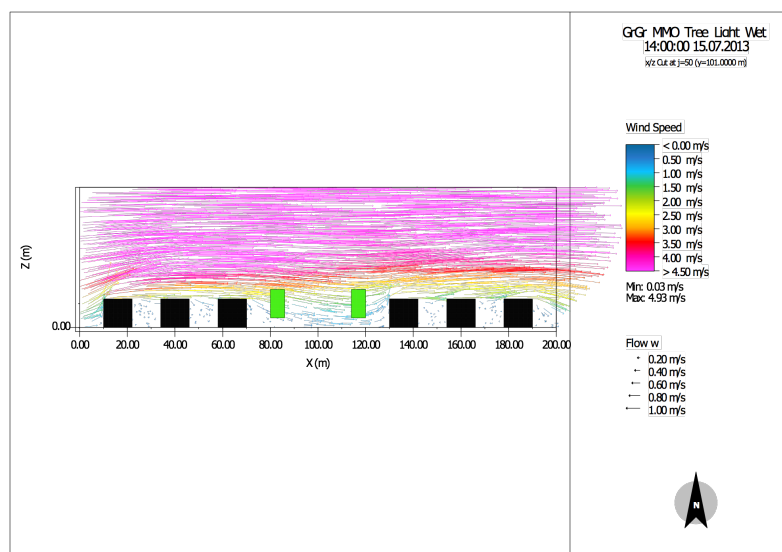
Figur 7. Simulerad lufttemperatur på en fiktiv bostadsgård i Malmö vid optimal markfukt, a) basfallet utan träd, b) med träd som har gles krona, c) med träd som har tät krona. Beläggningen på gården är bar jord. Illustratör: Hans Rosenlund, 2014.

5.1.2 Lufttemperatur

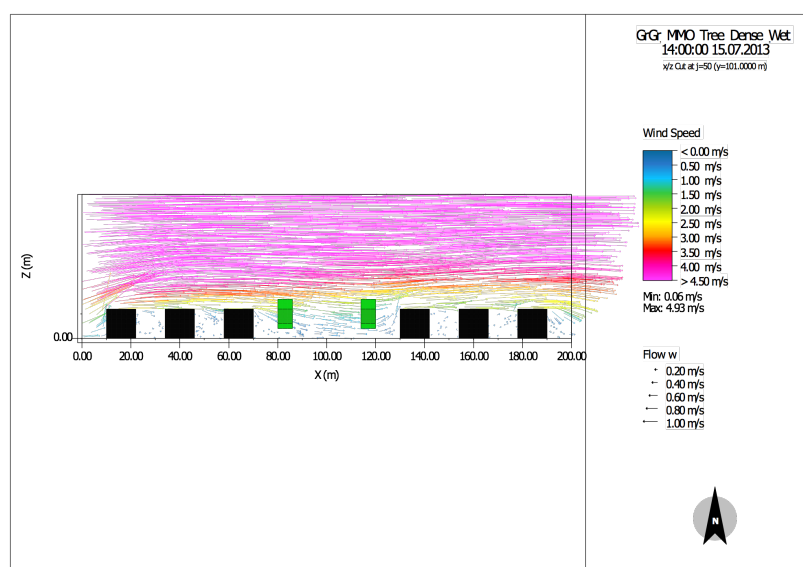
Träden gav inga märkbara skillnader i lufttemperatur för bostadsgården. Detta går att utläsa från figur 7, genom att jämföra basfallet med fall 1a och 2a. De små temperaturskillnader som uppstod visade att fall 2a uppnår högre maxtemperatur än fall 1a med en skillnad på ca. 0.15°C. Täta kronor skapar alltså högre maxtemperatur på bostadsgården än vad glesa kronor gör, även om skillnaden är liten. Ett resultat som är tvärtemot det som Shinzato och Duarte (2012) fick fram i sin studie i Sao Paulo, Brasilien.

Trolig förklaring till detta är att de täta kronorna hindrar de övre luftlagret att infiltreras ned under kronorna och kyla omgivningarna, ett luftutbyte de glesa kronorna tillåter i högre grad. Vindens hastighet är högre där träden är glesa. Figur 8 visar detta, genom skillnader i andelen långa drag längst marken för fall 1a med glesa kronor än för fall 2a med täta kronor.

a)



b)

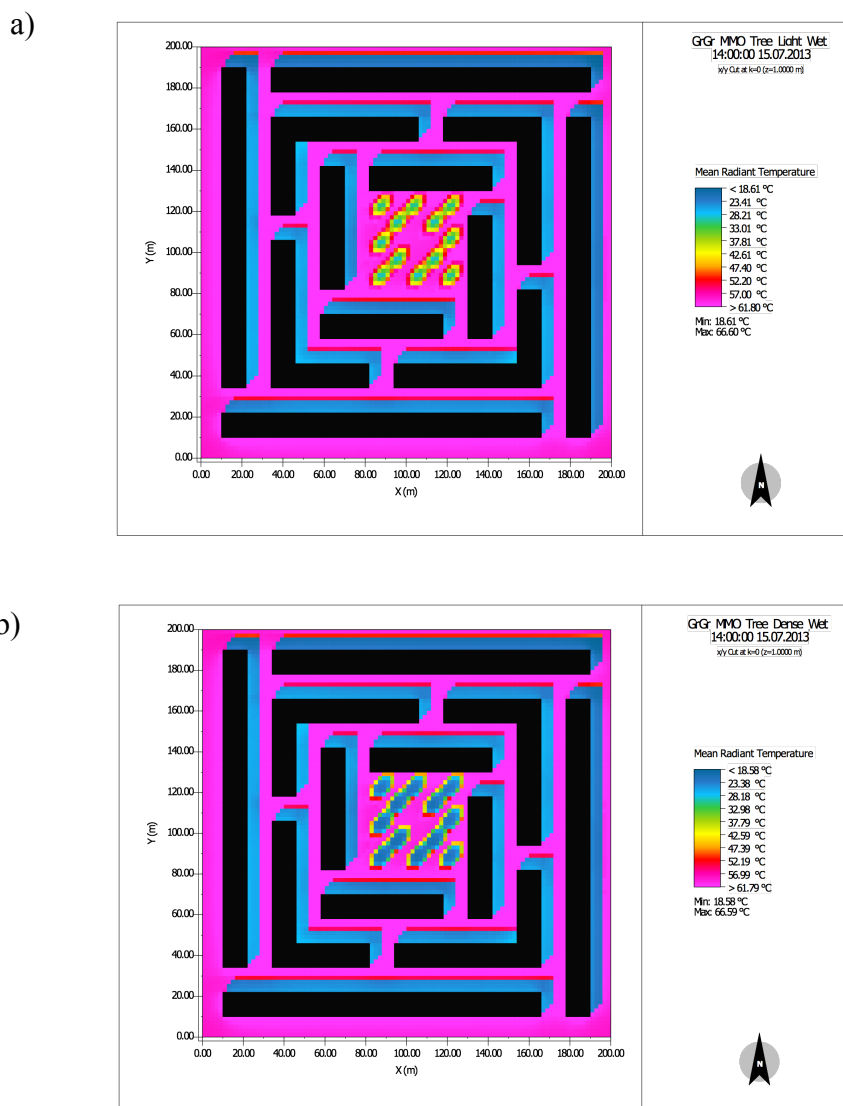


Figur 8. Simulerad vindhastighet på en fiktiv bostadsgård i Malmö, a) med träd som har gles krona, b) med träd som har tät krona. Illustratör: Hans Rosenlund, 2014.

Resultaten visar enligt dessa figurer att stadsträd inte har samma värmesänkande förmåga i Malmö, som den visat sig ha i andra studier utförda i varmare klimat (Boukhabla & Alkama. 2012; Shashua-Bar, Pearlmutter & Erell. 2009). Detta faktum nämner dock Alexandri och Jones (2006) när de påstår att vegetationens kylande effekt är störst i varma/torra klimat. Vilket stämmer med den knappa effekten som framgick i denna studie som är i ett mildt klimat. Den arkitektoniska utformningen av bostadsgården i studien kan också ha verkat avgörande för resultatets utfall och kan ha bidragit till dessa små skillnader.

5.1.3 Strålningstemperatur

Resultaten visar att strålningstemperaturen påverkas i hög grad beroende på trädets täckningsgrad (figur 9). Strålningstemperaturen på bostadsgården är den temperatur som vi människor uppfattar som värme. Detta innefattar både den värme som kommer ifrån solens strålar samt den värme som återstrålas ifrån olika objekt och material (Taleghani *et al.* 2014). De glesa träden i fall 1a, med låg täckningsgrad, ger en högre strålningstemperatur på bostadsgården än fall 2a med de täta träden. Att strålningstemperaturen minskar under de täta träden, visar att en ökad täckningsgrad i kronan, skapar större andel skugga. Ökad andel skugga ger alltså minskad värmebelastning för människor.



Figur 9. Simulerad strålningstemperatur på en fiktiv bostadsgård i Malmö, a) med träd som har gles krona, b) med träd som har tät krona. Illustratör: Hans Rosenlund, 2014.

Strålningstemperaturen är i fall 1a ca 30-40°C och i fall 2a 20°C, när lufttemperaturen är 20°C. Medelvärde av strålningstemperaturen och lufttemperaturen skapar en operativ temperatur som är en komfortindikator, som visar den termiska komforten för oss människor. I fall 1a blir den operativa temperaturen ca 25-30°C vilket är något varmt. I fall 2a blir den operativa temperaturen 20°C, vilket uppfattas som komfortabelt (Hans Rosenlund, skriftligen 2014-05-14).

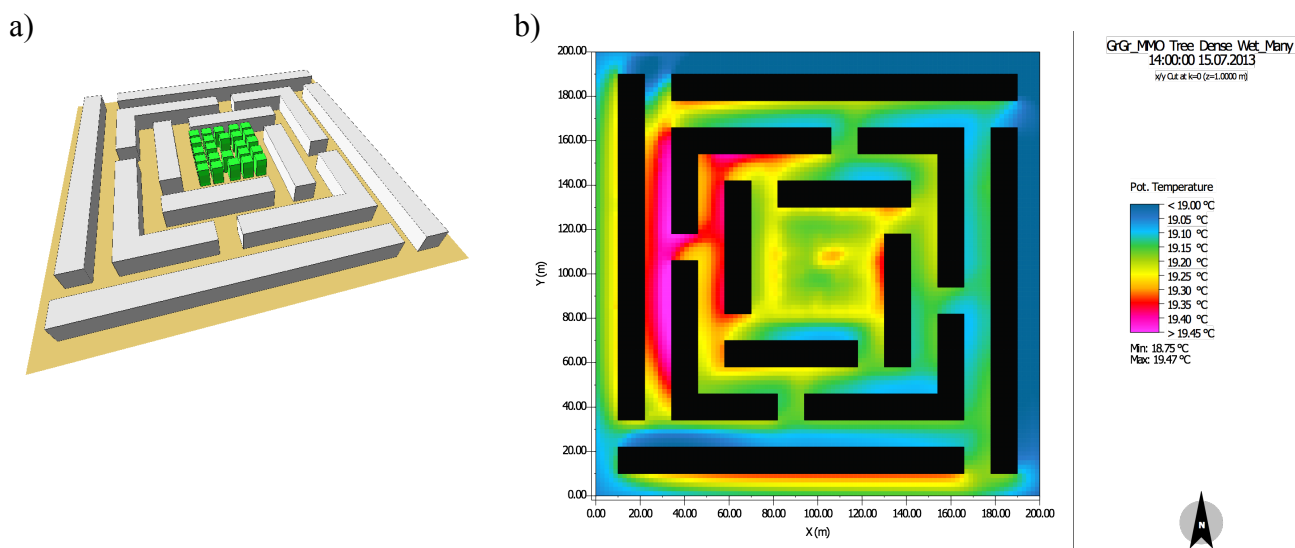
Genom att välja vegetation utifrån täckningsgraden kan därför ytor skapas eller modifieras, för människor som kräver låg värmebelastning. Valet av vegetation, beroende på bladtäckning i kronan, kan alltså vara avgörande för att skapa en behaglig yta på exempelvis ett ålderdomsboende eller ett sjukhus där lägre temperaturer prioriteras. Enligt tabell 2 är en *Acer platanoides* att föredra framför en *Gleditsia triacanthos f. inermis* för en yta som kräver den lägsta strålningstemperaturen.

Dock bör behovet av kyligare ytor i Malmö diskuteras. I Malmö är klimatet relativt mildt året om, benämningen termisk komfort kan därför ha dubbel betydelse. I varma klimat innebär termisk komfort att sänka temperaturer medan det i mildare klimat i många fall kan innebära att höja temperaturen. Särskilt för att göra utomhusmiljöer attraktiva även under de kalla månaderna på året. Eftersom solens strålar är mer efterfrågade i mildare klimat, planeras vegetation i högre grad för att skapa varma rum i landskapet som kan brukas hela året, än för att skapa kyliga oaser på sommarmånaderna. Dock kan det sistnämnda komma att bli allt viktigare framöver eftersom varmare temperaturer och fler rekordvarma dagar väntas komma.

Kunskap om strålningstemperaturens inverkan på den termiska komforten är väsentlig för att anpassa komforten så att ett önskat utfall kan nås. Detta kan man göra genom att välja rätt trädart och vegetation för ändamålet. På detta sätt kan man även använda kunskapen om strålningstemperaturen för att modifiera de mikroklimat som är särskilt utsatta för höga temperaturer.

5.1.4 Dubbelt antal träd samt kronans temperatur

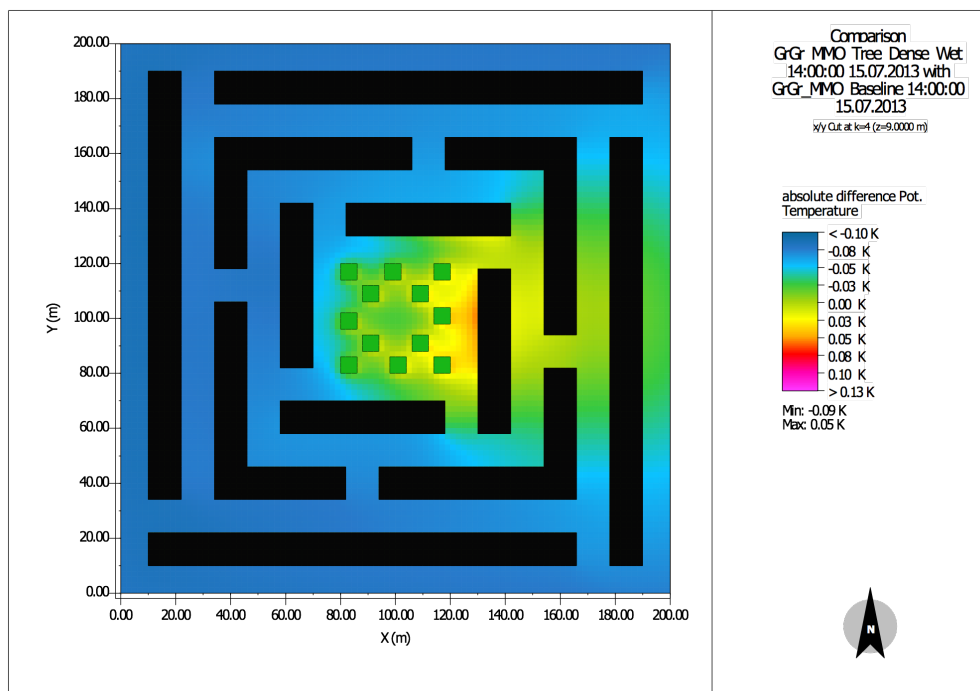
Nedan framgår vad som sker i simuleringen av bostadsgården om man dubblar antalet träd till 24 stycken med täta kronor vid optimal markfukt (figur 10).



Figur 10. Simulerad effekt med dubbelt antal träd som har täta kronor på en fiktiv bostadsgård i Malmö, a) 3D-vinkel av bostadsgården, b) simulerad marktemperatur med dubbelt antal träd. Illustratör: Hans Rosenlund, 2014.

Marktemperaturen sjunker i detta fall på bostadsgården. Öppningen i centrum syns som en varmare punkt, vilket leder till slutsatsen att en höjd andel täckande skugga kommer att sänka marktemperaturen. En effekt som inte uppnåddes med hälften antal träd med tät krona. Slutsatsen som kan dras här är därför att tätt planterade träd med tät krona i klunga, ger liknande nyansprofil som fall 1a med glesa kronor. Tätt planterade träd, utan vind, kan alltså ge samma kylande effekt på marktemperaturen som glesa träd gör som har möjlighet till luftutbyte.

I den täta kronan kan en temperatursänkning i kronan urskiljas vid optimal markfukt, mätt 9 m ovan mark (figur 11). Temperaturen i kronan är något lägre än den ovan mark. Trolig förklaring för detta är den kylande effekt som transpirationen från bladen avger. Att träd har förmågan att sänka temperaturen genom avdunstning, blir tydligt även i Malmös klimat.

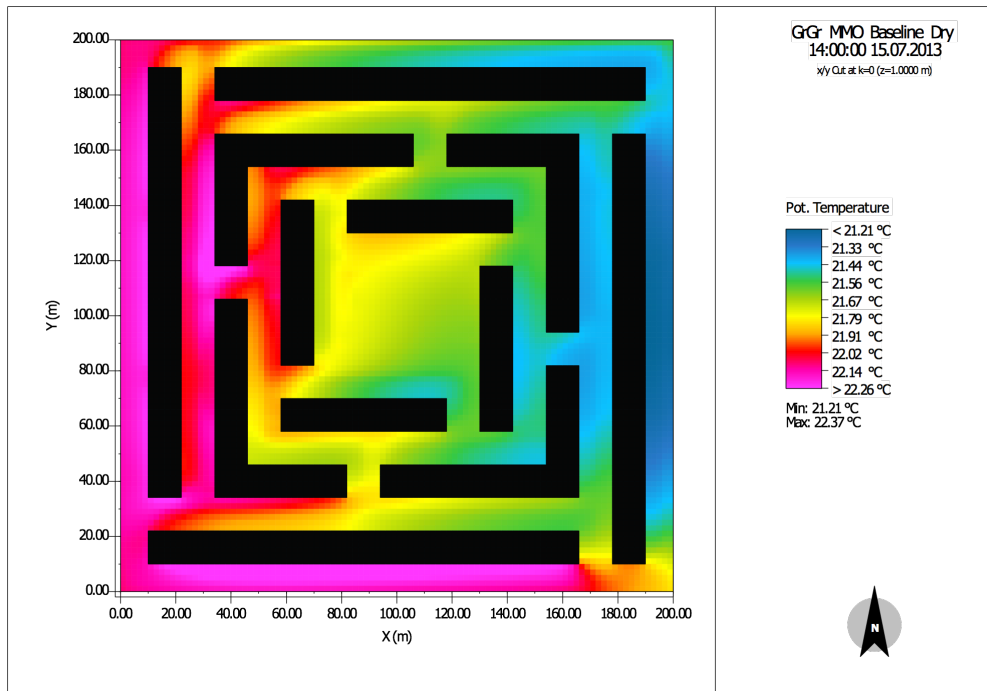


Figur 11. Simulerad krontemperatur på ett träd som har tät krona på en bostadsgård i Malmö, mätt 9 m ovan mark. Illustratör: Hans Rosenlund, 2014.

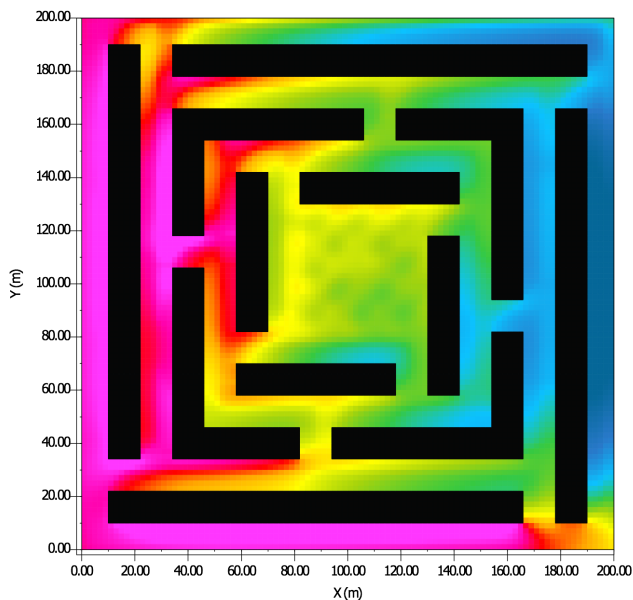
5.2 Låg markfukt

För att testa betydelsen av markfukten för temperaturen i en bostadsgård gjordes samma simulering men med hälften så hög markfukt. Resultaten från fall 1b och 2b visas nedan. Markfukten är låg i de översta 10 cm, 25 % och längre ner i jorden är den 30 % av den vattenhållande förmågan.

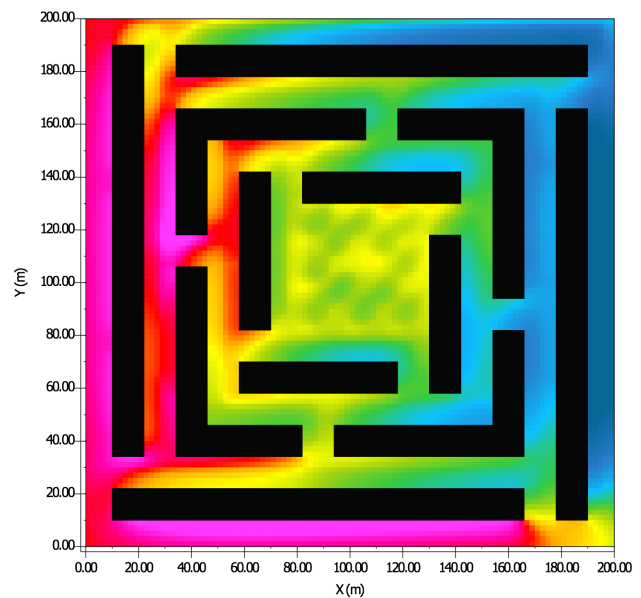
a)



b)



c)



Figur 12. Simulerad lufttemperatur på en fiktiv bostadsgård i Malmö vid låg markfukt, a) basfallet utan träd, b) med träd som har gles krona, c) med träd som har tät krona. Beläggningen på gården är bar jord. Illustratör: Hans Rosenlund, 2014.

Likt fall 1a och 2a med optimal markfukt kommer inte trädens effekt på lufttemperaturen att vara direkt märkbar (figur 12). Resultaten blir desamma här som för fall 1a och 2a, temperaturen blir något högre under de täta kronorna jämfört med de glesa kronorna. Dock är skillnaderna mindre än för fall 1a och 2a. Tydligt är däremot att den lägre markfukten påverkar hela stadsklimatet. Lufttemperaturen uppmättes i detta fall till ca 21,7°C medan den i basfallet med optimal markfukt uppmättes till ca 19,2°C. Alltså är temperaturen 2,5°C högre om fuktigheten är mindre.

Detta resultat visar tydligt vilken effekt fukt, material med evaporativ-förmåga samt vegetativa ytor kan ha för hela stadsklimatet. I denna studie har marken som testats varit enbart jord, som har förmågan att evaporera. Trots detta kan paralleller dras mellan effekten av låg markfukt och artificiella gatumaterial. Eftersom en temperaturskillnad på 2,5°C uppstod vid en halvering av markfukten till 30 %, kan skillnaderna bli ännu högre vid närvaro av artificiella material då dessa innehåller en försumbar mängd fukt.

Grönyteplanerare måste därför ta ställning till om en värmesänkande effekt är önskvärd i ett mildt klimat där solstrålar och värme inte alltid är ovälkomna. När medeltemperaturen för sommarmånaderna är relativt låg, kan skuggning från träd eller kylning från jord som evaporerar skapa lägre komfort för människor än vad de värmande strålarna från solen gör. Alltså är det viktigt att kontextanpassa områden beroende på hur situationerna ser ut. En yta som är fullt exponerad för sol med avsaknad av vind kräver dessa gröna lösningar i högre utsträckning, än en yta som är delvis skuggad eller väldigt vindutsatt.

Viss kritik och hänsyn måste tas till temperaturskillnaden på 2,5°C som finns i studien. Denna temperatur simulerades då samtliga markmaterial var jord. Denna situation är väldigt ovanlig i stadsmiljö och annorlunda resultat är troliga om studien även undersökt effekten av typiska gatumaterial.

6. Diskussion

6.1 Jämförelse med tidigare studier

Boukhabla och Alkama (2012) kunde i en studie visa skillnader i lufttemperaturen på en gata med eller utan vegetation på över 6°C. Detta resultat skiljer sig drastiskt från resultaten som framgick i studien med Malmös klimat, där inga märkbara skillnader i lufttemperatur kunde fastställas till följd av att sätta in träd. Troligen beror detta på skillnader i omgivande lufttemperatur, meteorologiska parametrar samt arkitektonisk utformning emellan studieområdena. Denna jämförelse visar att forskningsresultat från andra delar av världen inte alltid är applicerbara i Sverige.

Det vore därför intressant att undersöka när vegetation faktiskt börjar verka värmesänkande, vid vilken lufttemperatur denna effekt blir tydlig. Dimoudi och Nikolopoulou (2003) menar att evapotranspirationen är maximal och stomata resistansen minimal vid 25°C. Om studien i Malmö utförts på en rekordvarm dag istället, kanske effekten av träd blivit annorlunda för stadsklimatet. Denna kunskap är värdefull för Malmös klimat i framtiden.

Akbari *et al.* (1992) menar att träd som är planterade i klungor hjälper till att svalka varandra och att denna kylbevarande effekt även kan uppnås genom att plantera underliggande vegetation. Detta resultat framgick till viss del i Malmös klimat, där ett dubbelt antal träd med tät krona hade förmågan att sänka marktemperaturen mer än när träden var planterade med större mellanrum. En sänkt temperatur i den täta kronan gick även att fastställa. Dock finns inget resultat som visar underliggande vegetation hade gett en större kylande effekt.

Många studier har gjorts på olika platser runtom i världen, för att finna en förklaring till de temperaturskillnader som uppstår bland hårdgjorda- och vegetativa ytor. Resultaten från flera studier är eniga och tyder på att temperaturen i en urban miljö blir lägre lokalt vid högre andel vegetativa ytor (Konijnendijk *et al.* 2005; Shashua-Bar & Hoffman. 2000; Dimoudi & Nikolopoulou. 2003; Taha. 1997). Detta resonemang kan tydligt sammankopplas till studien i Malmös klimat, även om denna inte jämförde hårdgjorda med vegetativa ytor. Markfukten påverkade hela kvarterets klimat och en skillnad i lufttemperatur på 2,5°C kunde mätas mellan optimal och låg markfukt. Detta visar att vegetativa ytor, vid optimal markfukt, kan sänka temperaturer lokalt.

Sjöman och Lagerström (2005) lyfter fram vissa stressfaktorer i städer som kan påverka markfukten som exempelvis snabb avrinning av ytvatten och en hög andel hårdgjorda material utan infiltrerande egenskaper. Dessa faktorer gör det svårt att skapa en jord med optimal markfukt, särskilt under soliga perioder utan nederbörd. En relativt hög markfukt eller kontinuerlig bevattning krävs alltså för att uppnå denna temperaturskillnad. Detta visar även vikten av att leda ned regnvatten till vegetativa ytor, som sedan kan öka jordens evaporativa förmåga.

6.2 Framtida studier

I framtiden bör fler simuleringar göras för att undersöka eventuella effekter av vegetation och hårdgjorda material i svensk stadsmiljö. Dessa kan undersökas genom att använda samma bostadsgård som i denna studie samt utföras genom att använda programmet ENVI-met. Andra värmesänkande element eller modifieringar av ytmaterialet kan då undersökas.

Efter att ha utfört denna studie på en dag baserat på Malmös medeltemperatur, vore det intressant att utföra en simulering på en rekordvarm dag. Detta för att jämföra om effekten av trädens närvaro blir annorlunda för klimatet på bostadsgården.

Robitu, Inard, Groleau och Musy's (2004) studie visade att närvaron av ett vattenelement på 4 m² kan sänka lufttemperaturer med 1°C inom 30 m radie. Taleghani *et al.* (2014) kunde även visa en sänkt strålningstemperatur genom närvaron av ett vattenelement på en bostadsgård i Nederländerna. Baserat på denna forskning hade det varit intressant att mäta effekterna av ett vattenelement på bostadsgården i Malmös klimat. Vidare hade det varit intressant att undersöka effekterna av olika typer av gröna dagvattenlösningar.

Det vore även intressant att modifiera gatu- och byggnadsmaterialens albedo på bostadsgården. Tidigare studier har kunnat visa tydliga skillnader i marktemperatur genom att modifiera materialens albedo (Akabari, Pomerantz & Taha. 2001). Det hade därför varit av intresse att undersöka om liknande skillnader går att uppnå i Malmös klimat. På detta sätt kan man genom simulering i ENVI-met undersöka vilka effekter vanligt förekommande material faktiskt har på stadsklimatet, vilka skillnader som eventuellt uppstår. Detta kan skapa ytterligare förståelse för kontextanpassade materialval för framtiden.

7. Slutsats

Syftet med detta examensarbete är att undersöka vegetationens förmåga att sänka temperaturer som lokalt uppstår i urbana miljöer. Detta genom att svara på frågeställningen:

- *Vilket träd och markförutsättning skapar bästa värmesänkande effekt på en bostadsgård i Malmö under juli månad?*

Resultaten i studien visar att lufttemperaturen i Malmö inte kommer att påverkas märkbart av användningen av träd. Däremot kan lufttemperaturen komma att påverkas i hög grad av en höjning av markfukten. Skillnaden på lufttemperaturen blev 2,5°C mellan 60 % respektive 30 % markfukt. Ett faktum som visar att närvaro av jord med optimal markfukt fungerar värmesänkande i stadsmiljö.

Även om närvaron av träd inte påverkade lufttemperaturen, påverkades däremot strålningstemperaturen i hög grad. Träd med tät krona och hög täckningsgrad skapar högre andel skugga och skapar en mer komfortabel operativ temperatur på sommaren än träd med gles krona. Detta resultat stärker påståendet att träd kan sänka temperaturer som uppstår lokalt i urbana miljöer, inte genom att sänka lufttemperaturen, utan genom att minska värmelasten och öka den termiska komforten för människor i staden. Alltså kan ökad kvantitet av växtbäddar, göra att människor uppfattar temperaturen som lägre i staden. Växtbäddar med träd har både jordens evaporativa förmåga samt möjligheten att minska värmelasten för människor som vistas under trädens kronor.

8. Källor

Alexandri, E. & Jones, P. (2006). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. (Elektronisk) *Building and Environment*, 43, ss. 480-493. Tillgänglig: www.sciencedirect.com. [2014-04-04]

Akbari, H., Davis, S., Dorsano, S., Huang, J. & Winnett, S. (1992). *Cooling our communities: A guidebook on tree planting and light-colored surfacing*. (Elektronisk) Washington, DC: U.S Environmental Protection Agency, Office of policy analysis, Climate change division. Tillgänglig: <http://nepis.epa.gov/simple-search/Cooling-our-communities-guidebook-on-tree-planting-and-light-coloured-surfacing/> [2014-04-22]

Akbari, H., Kurn, D., Bretz, S. & Hanford, J. (1997). Peak power and cooling energy savings of shade trees. (Elektronisk) *Energy and Building* 25, ss.139-148. Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2014-04-29]

Brown, R. & Gillespie, T. (1995). *Microclimatic landscape design*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Bogren, Jörgen, Gustavsson, Torbjörn & Loman, Göran (1999). *Klimatologi, meteorologi*. [Ny, omarb. och utök. utg.] Lund: Studentlitteratur

Boukhabla, M. & Alkama, D. (2012). Impact of vegetation on thermal conditions outside-thermal modeling of urban microclimate. Case study: the street of the republic, Biskra. (Elektronisk) *Energy Procedia*. Vol. 18, ss.73-84. Tillgänglig: www.sciencedirect.com. [2014-04-04]

Carfan, AC., Galvani, E. & Nery, JT. (2012). Study of thermal comfort in the City of São Paulo using ENVI-met model. (Elektronisk) *Investigaciones Geográficas*, 78, ss.34-47. Tillgänglig: Scopus [2014-05-02]

Chen J. M. & Black, T. A. (1992). Defining leaf area index for non-flat leaves. (Elektronisk) *Plant, Cell and Environment* 15, ss.421-429. DOI: 10.1111/1365-3040.ep8115326 Tillgänglig: <http://www.onlinelibrary.wiley.com/Defining-leaf-area-index-for-non-flat-leaves/> [2014-05-02]

Di Maria, V., Rahman, M., Collins, P., Dondi, G. & Sangiorgi, C. (2013). Urban Heat Island: thermal response from different types of exposed paved surfaces. (Elektronisk) *International Journal of Pavement Research Technology*, 6, ss.414-422. Tillgänglig: LU Linker [2014-04-14]

Di, H.F. & Wang, D.N. (1999) Cooling effect of ivy on a wall. (Elektronisk) *Experimental Heat Transfer* Vol. 12, ss.235-245. Tillgänglig: LU Linker [2014-04-17]

Dickinson, Robert, E. (1984) Modeling evapotranspiration for three-dimensional global climate models. (Elektronisk) *Climate processes and Climate Sensitivity*, Vol. 29. Tillgänglig: <http://www.agu.org/books/gm/v029/GM029p0058/GM029p0058.pdf> [2014-04-18]

- Dimoudi, A. & Nikolopoulou, M. (2003). Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. (Elektronisk) *Energy and Buildings*, Vol. 35, ss.69-76. Tillgänglig: www.sciencedirect.com. [2014-04-08]
- Edlund, Matilda & Eneroth, Nina (2012). *Handlingsplan för klimatanpassning Malmö 2012-2014*. (Elektronisk) Malmö: Malmö Stad. Tillgänglig: <http://www.preventionweb.net/applications/hfa/lgsat/en/image/href/2327> [2014-05-01]
- Eriksson, Jan, Nilsson, Ingvar & Simonsson, Magnus (2011). *Marklära*. Lund: Studentlitteratur
- Eschenbach, C. & Kappen, L. (1996). Leaf index determination in an alder forest: a comparison of three methods. (Elektronisk) *Journal of Experimental Botany*, 47, ss.1457-1462. Tillgänglig: http://jxb.oxfordjournals.org/content/47/9/1457.full.pdf?origin=publication_detail [2014-05-02]
- Johnston J. & Newton, J. (1993) *Building green- A guide to using plants of roofs, walls and pavements*. (Elektronisk) London Ecology Unit. Tillgänglig: http://legacy.london.gov.uk/mayor/strategies/biodiversity/docs/Building_Green_main_text.pdf [2014-04-17]
- Geiger, Rudolf (1965). *The climate near the ground*. Transl. from the 4. German ed. Cambridge, Mass.: Harvard University Press
- Givoni, B. (1991) Impact of planted areas on urban environmental quality: a review. *Atmospheric Environment* Vol. 25B, NO. 3, ss.289-299.
- Katayama, T., Hayashi, T., Ishii, A. & Tsutsumi, J. (1993). Field surveys on cooling effects of vegetation in an urban area. (Elektronisk) *Journal of Thermal Biology*. 18, ss.571-576. Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2014-04-17]
- Konijnendijk, Cecil., Nilsson, Kjell., Randrup, Thomas. & Schipperijn, Jasper. (2005). *Urban Forests and Trees: A Reference Book*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Kurn, D. M., Bretz, S.E., Huang, B. & Akbari, H. (1994). *The potential for reducing urban air temperatures and energy consumptions through vegetative cooling*. (Elektronisk) Proceedings of the 1994 Summer study on energy effects in Buildings, Pacific Grove, California. Tillgänglig: <http://heatisland.lbl.gov/sites/all/files/lbl-35320.pdf> [2014-04-15]
- Landsberg, Helmut Erich (1981). *The urban climate*. New York: Academic P.
- Lee, S.-H., Lee, K.-S., Jin, W.-C., Song, H.-K. (2009). Effect of an urban park on air temperature differences in a central business district area. (Elektronisk) *Landscape Ecological Engineering*. 5, ss.183-191. Tillgänglig: Scopus [2014-04-14]
- McPherson, G., Rowntree, R. & Wagar, A. (1995). Energy-Efficient Landscapes. I: Bradley, Gordon A (red.) *Urban forest landscapes: integrating multidisciplinary perspectives*. (Elektronisk) Seattle: University of Washington Press. Tillgänglig: http://www.fs.fed.us/psw/programs/uesd/uep/products/cufr_81_EM95_30.PDF [2014-04-07]

- McPherson, E., Nowak, D. J. & Rowntree, R. A. (1994) *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project*. (General Technical Report No. NE-186), U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Radnor, PA. Tillgänglig: http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr_ne186.pdf [2014-04-17]
- Nisbet, T. (2005). *Water use by trees*. (Elektronisk) Forestry commission. Tillgänglig: [http://www.forestry.gov.uk/pdf/FCIN065.pdf/\\$FILE/FCIN065.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/FCIN065.pdf/$FILE/FCIN065.pdf) [2014-04-24]
- Nowak, David J. (1996). Estimating leaf area and leaf biomass of open-grown deciduous urban trees [Online]. *Forest Science*, 42, ss.504-507 [2014-05-05] Tillgänglig online
- Nowak, D. J. & Heisler, G. M. (2010). *Air Quality Effects of Urban Trees and Parks*. (Elektronisk) National Recreation and Park Association. Tillgänglig: http://www.nrpa.org/uploadedFiles/nrpa.org/Publications_and_Research/Research/Papers/Nowak-Heisler-Summary.pdf [2014-04-17]
- Oke, T. R. (1987). *Boundary layer climates*. 2. ed. London: Routledge
- Qiu, GY., Li, HY., Zhang, QT., Chen, W., Liang, XJ. & Li, XZ. (2013). Effect of evapotranspiration on mitigation of urban temperature by vegetation and urban agriculture. (Elektronisk) *Journal of Integrative Agriculture*, 12, ss.1307-1315. Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2014-04-04]
- Radhi, H., Assem, E. & Sharples, S. (2014). On the colors and properties of building surface materials to mitigate urban heat islands in highly productive solar regions. (Elektronisk) *Building and environment*, 72, ss.162-172. Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2014-04-23]
- Radhi, H., Fikry, F. & Sharples, S. (2013). Impacts of urbanisation on the thermal behaviour of new built up environments: A scoping study of the urban heat island in Bahrain. (Elektronisk) *Landscaping and urban planning*, 113, ss.47-61. Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2014-04-23]
- Robitu, M., Inard, C., Groleau, D. & Musy, M. (2004). Energy balance study of water ponds and its influence on building energy consumption. (Elektronisk) *Building Services Engineering Research and Technology*, 25, ss.171-182. Tillgänglig: Business Source Complete [2014-04-30]
- Rothfuss, Y., Biron, P., Braud, I., Canale, L., Durand, J. L., Gaudet, J. P., Richard, P., Vauclin, M. & Bariac, T. (2010). Partitioning evapotranspiration fluxes into soil evaporation and plant transpiration using water stable isotopes under controlled conditions. (Elektronisk) *Hydrological Processes*, Vol. 24, ss.3177-3194. Tillgänglig: GeoRef [2014-04-04]
- Shashua-Bar, L. & Hoffman, M.E. (2000). Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: an empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. (Elektronisk) *Energy and Buildings* 31, ss.221-235. Tillgänglig: www.sciencedirect.com. [2014-04-04]
- Shinzato, P., Duarte, D. (2012). *Microclimatic effect of vegetation for different leaf area index- LAI*. (Elektronisk) Proceedings of the 28th PLEA conference. Lima, Peru 7-9 November 2012. Tillgänglig: <http://www.plea2012.pe/pdfs/T12-20120130-0022.pdf> [2014-05-21]

Sjöman Henrik och Lagerström Tomas (2007). *Stadens hårdgjorda miljöer som växtplats*. Gröna fakta 5/2007. Alnarp: Movium

Svensk Byggtjänst (2011). *AMA Anläggning 10: Allmän material- och arbetsbeskrivning för anläggningsarbeten*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.

Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut [SMHI] (2014a) *Skånes klimat* (Elektronisk) Tillgänglig <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/skanes-klimat-1.4827> [2014-05-01]

Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut [SMHI] (2014b) *Solstrålning* (Elektronisk) Tillgänglig <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/solstralning-1.4186> [2014-04-15]

Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut [SMHI] (2014c) *Sveriges klimat* (Elektronisk) Tillgänglig <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/sveriges-klimat-1.6867> [2014-05-01]

Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut [SMHI] (2014d) *Vattencykeln-förenar hydrologi, meteorologi och oceanografi* (Elektronisk) Tillgänglig <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/vattencykeln-forenar-hydrologi-meteorologi-och-oceanografi-1.20615> [2014-04-21]

Svensson, M och Eliasson Ingegärd. (1999). Lokalklimatet i planeringen När? Var? Hur? (Rapport: 5021). Stockholm: naturvårdsverket

Taha, H. (1997). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. (Elektronisk) *Energy and buildings*, 25, ss.99-103. Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2014-04-04]

Taleghani, M., Tenpierik, M., Dobbeltstein, A., Sailor, D. (2014). Heat in courtyards: a validated and calibrated parametric study of heat mitigation strategies for urban courtyards in the Netherlands. (Elektronisk) *Solar energy*, 103, ss.108-124. Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2014-04-23]

Tang, R., Etzion, Y. (2003). Comparative studies on the water evaporation rate from a wetted surface and that from a free water surface. (Elektronisk) *Building and environment*, 39, ss. 77-86. Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2014-04-23]

Upmanis, H., Eliasson, I., Lindqvist S. (1998). The Influence of Green Areas on Nocturnal Temperatures in a High Latitude City (Göteborg, Sweden). (Elektronisk) *Journal of Climatology*, 18, ss.681-700. Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2014-04-04]

Vos, P., Maiheu, B., Vankerkom J., Janssen, S. (2013). Improving local air quality in cities: To tree or not to tree?. (Elektronisk) *Environmental Pollution*, 183, ss.133-122. Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2014-04-17]

Ward, R. C. (1971). Measuring evapotranspiration; a review. (Elektronisk) *Journal of Hydrology*, 13, ss.1-21. Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2014-04-17]

Wong, E., Hogan, K., Rosenberg, J., Denny, A. (2008). *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*. (Elektronisk) EPA Protection Partnership Division in the U.S. Environmental Protection Partnership Agency's Office of Atmospheric Programs Climate, Washington DC, USA. Tillgänglig: <http://www.epa.gov/heatisland/resources/compendium.htm> [2014-04-17]

Icke publicerat material

Hans Rosenlund. (2014). Skriftligen 2014-05-14